



5.06(489)K2

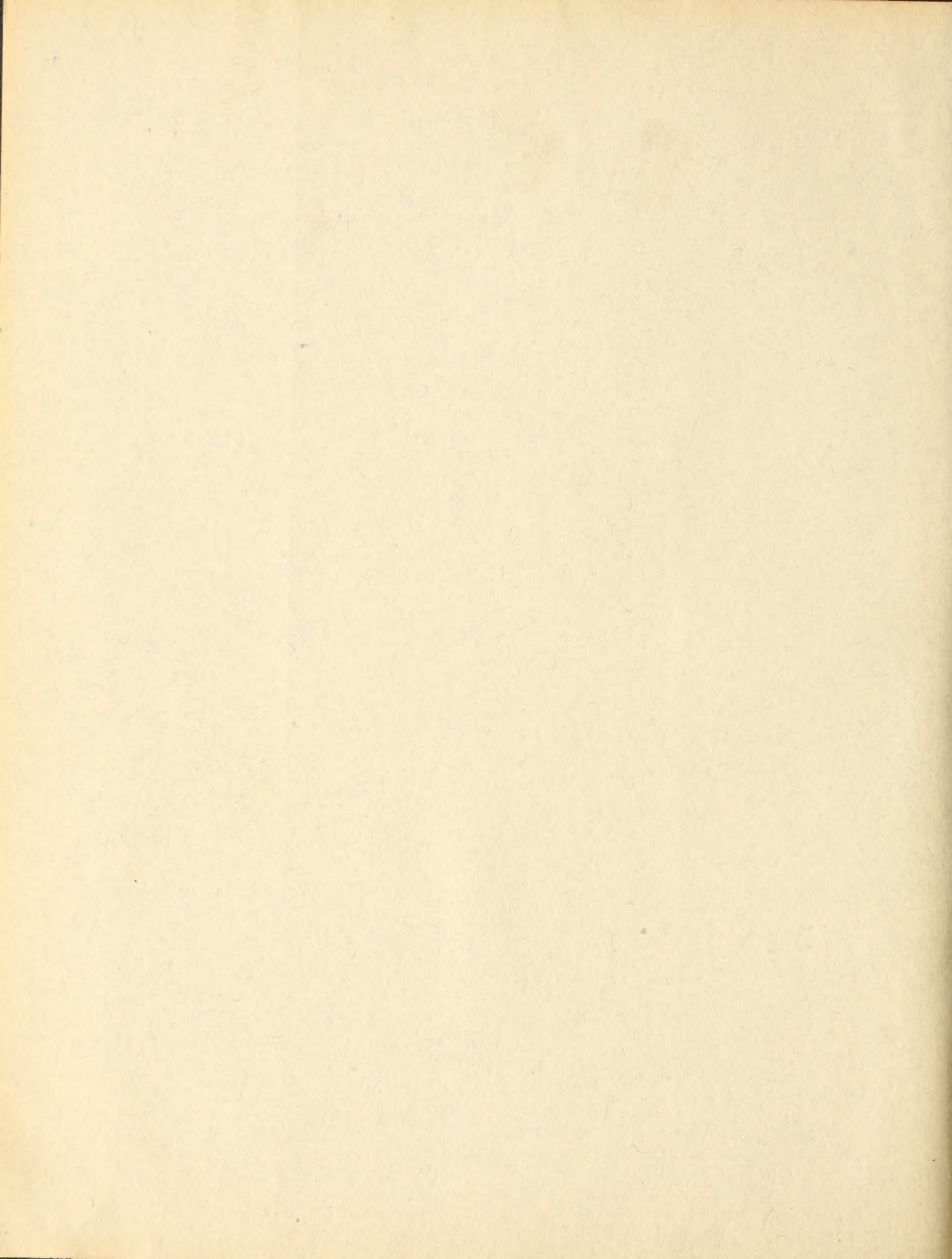
9

FOR THE PEOPLE  
FOR EDUCATION  
FOR SCIENCE

LIBRARY  
OF  
THE AMERICAN MUSEUM  
OF  
NATURAL HISTORY













DET KONGELIGE DANSKE  
VIDENSKABERNES SELSKABS SKRIFTER

OTTENDE RÆKKE

5.06(48.9) K2  
9

NATURVIDENSKABELIG OG MATHEMATISK AFDELING

TREDJE BIND

MED 12 TAVLER OG 14 KORT



KØBENHAVN  
HOVEDKOMMISSIONÆR ANDR. FRED. HØST & SØN KGL. HOF-BOGHADEL  
BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1919



20-83500-284

# INDHOLD

|  |                |
|--|----------------|
| Fortegnelse over Selskabets Medlemmer Maj 1919 .....   | 8 ide<br>V—XVI |
| 1. <b>Wesenberg-Lund, C.:</b> Furesøstudier. En bathymetrisk-botanisk-zoologisk Undersøgelse af Mølleaaens Søer. Under Medvirkning af Oberst M. J. SAND, Mag. J. BOYE PETERSEN, Fru A. SEIDELIN RAUNKJÆR og Mag. C. M. STEENBERG. Med 7 bathymetriske Kort, 7 Vegetationskort, 8 Tavler og ca. 50 i Teksten trykte Figurer. Avec un résumé en français. .... | 1—208          |
| 2. <b>Lehmann, Alfr.:</b> Stofskifte ved sjæleligt Arbejde. With a résumé in english. ....   | 209—283        |
| 3. <b>Kramers, H. A.:</b> Intensities of Spectral Lines. On the application of the Quantum Theory to the problem of the relative intensities of the components of the fine structure and of the stark effect of the lines of the hydrogen spectrum. With 4 plates. ....  | 285—386        |





# FORTEGNELSE

OVER

DET KONGELIGE DANSKE VIDENSKABERNES SELSKABS MEDLEMMER

---

Maj 1919

Protektor:  
Hans Majestæt Kongen.

Præsident:  
VILH. THOMSEN.

Formand for den hist.-filos. Klasse: FR. BUHL.  
Formand for den naturv.-math. Klasse: S. P. L. SØRENSEN

Sekretær: MARTIN KNUDSEN.  
Redaktør: DINES ANDERSEN.  
Kasserer: W. L. JOHANNSEN.

---

Kassekommissionen.

H. HØFFDING. KR. ERSLEV. J. L. W. V. JENSEN. J. T. HJELMSLEV.

Revisorer.

TH. J. M. MADSEN. C. HANSEN OSTENFELD.

Kommissionen for Registrering af litterære Kilder til dansk Historie i Udlandet.

JOH. STEENSTRUP. K. ERSLEV. H. O. LANGE.

Udvalg for den internationale Katalog over naturvidenskabelige Arbejder.

L. KOLDERUP ROSENVINGE. V. HENRIQUES. S. P. L. SØRENSEN. TH. THORODDSSEN  
MARTIN KNUDSEN. J. T. HJELMSLEV.

Medlemmer af det staaende Udvalg for den internationale Association af Akademier.

H. G. ZEUTHEN. J. L. HEIBERG.

Udvalg for Deltagelse i internationale vulkanologiske Undersøgelser.

K. PRYTZ. S. P. L. SØRENSEN. M. KNUDSEN. TH. THORODDSSEN.

---

## INDENLANDSKE MEDLEMMER

ZEUTHEN, HIERONYMUS GEORG, Dr. phil. & math., fh. Professor i Mathematik ved Københavns Universitet og den Polytekniske Læreanstalt, Kommandør af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af Nordstjernen.

THOMSEN, VILHELM LUDVIG PETER, Dr. phil., fh. Professor i sammenlignende Sprogvidenskab ved Københavns Universitet, Ridder af Elefanten, Storkors af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af den preussiske Røde Ørns Orden, dekoreret med Fortjenstmedaillen i Guld og med den preussiske Orden Pour le Mérite, Selskabets Præsident.

WIMMER, LUDVIG FRANDS ADALBERT, Dr. phil. & litt., fh. Professor i de nordiske Sprog ved Københavns Universitet, Storkors af Danebrog og Danebrogsmand, dekoreret med Fortjenstmedaillen i Guld.

TOPSØE, HALDOR FREDERIK AXEL, Dr. phil., fh. Direktør for Arbejds- og Fabriktilsynet, Kommandør af Danebrog og Danebrogsmand, dekoreret med Fortjenstmedaillen i Guld.

WARMING, JOHANNES EUGENIUS BÜLOW, Dr. phil. & sc., fh. Professor i Botanik ved Københavns Universitet, Kommandør af Danebrog og Danebrogsmand, dekoreret med Fortjenstmedaillen i Guld, Kommandør af den storbritanniske Victoriaorden, Ridder af den brasilianske Roseorden.

STEENSTRUP, JOHANNES CHRISTOPHER HAGEMANN REINHARDT, Dr. jur. & phil., fh. Professor Rostgardianus i nordisk Historie og Antikviteter ved Københavns Universitet, Kommandør af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af Nordstjernen, Ridder af Æreslegionen.

GERTZ, MARTIN CLARENTIUS, Dr. phil., fh. Professor i klassisk Filologi ved Københavns Universitet, Kommandør af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af den italienske Kroneorden og af Nordstjernen.



- HEIBERG, JOHAN LUDVIG, Dr. phil., litt., med. & sc., Professor i klassisk Filologi ved Københavns Universitet, Ridder af Danebrog.
- HØFFDING, HARALD, Dr. phil., jur., sc. & litt., fh. Professor i Filosofi ved Københavns Universitet, Storkors af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af St. Olavs Ordenen, af Nordstjernen, af Æreslegionen og af den østrigske Røde Kors Orden, af den preussiske Røde Kors Orden og af den russiske Røde Kors Orden, Officier de l'instruction publique.
- KROMAN, KRISTIAN FREDERIK VILHELM, Dr. phil., Professor i Filosofi ved Københavns Universitet, Ridder af Danebrog og Danebrogsmand.
- MÜLLER, PETER ERASMUS, Dr. phil., Kammerherre, Hofjægmester, fh. Overførster for anden Inspektion, Storkors af Danebrog og Danebrogsmand, dekoreret med Majestæternes Guldbryllups-Erindingstegn, Kommandør af St. Olavsordenen, af den russiske St. Annaorden, af den spanske Carl III's Orden, af den græske Frelserorden og af den preussiske Røde Ørns Orden.
- ERSLEV, KRISTIAN SØFUS AUGUST, Dr. phil., Rigsarkivar, Kommandør af Danebrog og Danebrogsmand.
- BOAS, JOHAN ERIK VESTI, Dr. phil., Professor i Zoologi ved den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Ridder af Danebrog og Dannebrogsmænd, Ridder af St. Olavsordenen.
- PETERSEN, OTTO GEORG, Dr. phil., fh. Professor i Botanik ved den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Ridder af Danebrog og Danebrogsmand.
- PRYTZ, PETER KRISTIAN, Professor i Fysik ved den Polytekniske Lærestanstalt, Ridder af Danebrog og Danebrogsmand.
- SALOMONSEN, CARL JULIUS, Dr. med. & sc., Professor i Pathologi ved Københavns Universitet, Kommandør af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af den preussiske Kroneorden, af den russiske St. Stanislausorden, af den svenske Vasaorden og af Æreslegionen, Ridder af Nordstjernen og af St. Olavsordenen, Officier de l'instruction publique.
- MØLLER, MARTIN THOMAS HERMANN, Dr. phil., Professor i germansk Filologi ved Københavns Universitet, Ridder af Danebrog.
- JÓNSSON, FINNUR, Dr. phil., Professor i nordisk Filologi ved Københavns Universitet, Ridder af Danebrog, Kommandør af Nordstjernen, Ridder af St. Olavsordenen.
- MÜLLER, SOPHUS OTTO, Dr. phil., Direktør for Nationalmuseets første Afdeling, Kommandør af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af den italienske St. Mauritius og Lazarusorden, Ridder af Æreslegionen.
- BERGH, RUDOLPH SOPHUS, Dr. phil., fh. Docent i Histologi ved Københavns Universitet.
- JOHANNSEN, WILHELM LUDVIG, Dr. med., phil. & bot. et zool., Professor i Plantefysiologi ved Københavns Universitet, Ridder af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af den franske Orden Mérite agricole, Selskabets Kasserer.

- JESPERSEN, JENS OTTO HARRY, Dr. phil. & litt., Professor i engelsk Sprog og Litteratur ved Københavns Universitet.
- NYROP, KRISTOFFER, Dr. phil., Professor i romansk Sprog og Litteratur ved Københavns Universitet, Ridder af Dannebrog og Dannebrogsmænd, Officer af Æreslegionen, Officier de l'instruction publique, Ridder af den italienske Kroneorden, dekoreret med rumænsk Fortjenstmedaille i Guld.
- BANG, BERNHARD LAURITS FREDERIK, Dr. med., Veterinærfysikus, fh. Professor i Veterinær-Lægevidenskab ved den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Kommandør af Dannebrog og Dannebrogsmænd, Kommandør af Nordstjernen og af St. Olavsordenen, Komturkorset af 1. Kl. af den sachsiske Albrechtsorden.
- JUEL, CHRISTIAN SOPHUS, Dr. phil., Professor i Mathematik ved den Polytekniske Lærestalt i København, Ridder af Dannebrog.
- BUHL, FRANTZ PETER WILLIAM, Dr. phil. & theol., Professor i semitisk-orientalsk Filologi ved Københavns Universitet, Kommandør af Dannebrog og Dannebrogsmænd, Kommandør af den græske Frelserorden, Ridder af Nordstjernen og af Kongeriget Sachsens Civil Fortjeneste Orden, Officier de l'instruction publique, Formand i Selskabets historisk-filosofiske Klasse.
- KÅLUND, PETER ERASMUS KRISTIAN, Dr. phil., Bibliotekar ved den Arnemagnæanske Haandskriftsamling paa Universitetsbiblioteket i København, Ridder af Dannebrog og af St. Olavsordenen.
- ROSENVINGE, JANUS LAURITS ANDREAS KOLDERUP, Dr. phil., Professor i Botanik ved Københavns Universitet, Ridder af Dannebrog.
- TROELS-LUND, TROELS FREDERIK, Dr. phil., Professor, Ordens-Historiograf, Storkors af Dannebrog og Dannebrogsmænd, Storkors af St. Olavs Ordenen, Ridder af den græske Frelserorden.
- DREYER, JOHAN LUDVIG EMIL, Dr. phil., fh. Director of the Armagh Observatory, Irland, Ridder af Dannebrog.
- LEHMANN, ALFRED GEORG LUDVIG, Dr. phil., Professor i eksperimental Psykologi ved Københavns Universitet, Ridder af Dannebrog.
- RUBIN, MARCUS, Direktør i Nationalbanken, Historiker, Kommandør af Dannebrog og Dannebrogsmænd, Storkomtur af den meklenborgske Grif-Orden, Kommandør af den russiske St. Stanilausorden.
- RAUNKJÆR, CHRISTEN, Professor i Botanik ved Københavns Universitet.
- DRACHMANN, ANDERS BJØRN, Dr. phil., Professor i klassisk Filologi ved Københavns Universitet, Ridder af Dannebrog.

- HUDE, KRISTIAN KARL TULINIUS, Dr. phil., Rektor ved Frederiksborg lærde Skole, Ridder af Danebrog.
- CHRISTENSEN, ANDERS CHRISTIAN, Professor i Kemi ved den Farmaceutiske Lærestalt i København, Ridder af Danebrog.
- HENRIQUES, VALDEMAR, Dr. med., Professor i Fysiologi ved Københavns Universitet.
- JENSEN, CARL OLUF, Dr. med., Professor, Forstander for den kgl. Veterinær- og Landbohøjskoles Serumlaboratorium, Ridder af Danebrog, af St. Olavsordenen, af Nordstjerneordenen og af den sachsiske Albrechtsorden.
- PEDERSEN, HOLGER, Dr. phil., Professor i sammenlignende Sprogvidenskab ved Københavns Universitet.
- LANGE, HANS OSTENFELDT, Dr. phil., Overbibliotekar ved det kongelige Bibliotek i København, Ridder af Danebrog, Komtur af den meklenborgske Griforden, Ridder af St. Olavsordenen.
- SØRENSEN, SØREN PETER LAURITZ, Dr. phil. & med., Professor, Direktør for Carlsberg-Laboratoriets kemiske Afdeling, København, Ridder af Danebrog, Formand i Selskabets naturvidenskabelig-matematiske Klasse.
- JENSEN, JOHAN LUDVIG WILLIAM VALDEMAR, Dr. phil., Overingeniør, Ridder af Danebrog.
- ANDERSEN, DINES, Dr. phil., Professor i indisk-østerlandsk Filologi ved Københavns Universitet, Selskabets Redaktør.
- KNUDSEN, MARTIN HANS CHRISTIAN, Dr. phil., Professor i Fysik ved Københavns Universitet og den Polytekniske Lærestalt, Ridder af St. Olavsordenen, Selskabets Sekretær.
- THORODDSEN, THORVALDUR, Dr. phil., Professor, Geolog, Ridder af Danebrog.
- MADSEN, THORVALD JOHANNES MARIUS, Dr. med., Direktør for Statens Seruminstitut, Ridder af Danebrog, Officer af Æreslegionen, Ridder af den preussiske Røde Ørns Orden og af den svenske Nordstjerneorden.
- WINGE, ADOLPH HERLUF, Viceinspektør ved Københavns Universitets Zoologiske Museum.
- BLINKENBERG, CHRISTIAN SØRENSEN, Dr. phil., Professor i Arkæologi ved Københavns Universitet, Ridder af Danebrog, Kommandør af den spanske Isabellaorden.
- KINCH, KARL FREDERIK, Dr. phil., Arkæolog.
- VEDEL, VALDEMAR, Dr. phil., Professor i almindelig Litteraturvidenskab ved Københavns Universitet.
- SANDFELD, KRISTIAN, Dr. phil., Professor i romanske Sprog ved Københavns Universitet.
- SARAUW, CHRISTIAN PREBEN EMIL, Dr. phil., Professor i tysk Sprog og Litteratur ved Københavns Universitet.



- BOCK, JOHANNES CARL, Dr. med., Professor i Farmakologi ved Københavns Universitet, Ridder af Danebrog.
- BRØNSTED, JOHANNES NICOLAUS, Dr. phil., Professor i Kemi ved Københavns Universitet.
- HJELMSLEV, JOHANNES TROLLE, Dr. phil., Professor i Matematik ved Københavns Universitet.
- NIELSEN, NIELS, Dr. phil., Professor i Matematik ved Københavns Universitet.
- PETERSEN, CARL GEORG JOHANNES, Dr. phil. & jur., Direktør for Dansk biologisk Station. Ridder af Danebrog og Danebrogsmand, Kommandør af den russiske St. Stanislausorden, Ridder af den norske St. Olavs Orden og af den svenske Nordstjerneorden.
- POULSEN, VALDEMAR, Dr. phil., Ingeniør, dekoreret med Fortjenstmedaillen i Guld med Krone.
- BJERRUM, NIELS JANNIKSEN, Dr. phil., Professor i Kemi ved den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.
- FIBIGER, JOHANNES ANDREAS GRIB, Dr. med., Professor i patologisk Anatomi ved Københavns Universitet, Ridder af Danebrog.
- HANSEN OSTENFELD, CARL EMIL, Dr. phil., Professor i Botanik ved den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Ridder af den tunesisk Nichau-el-Iftikar Berømmelsesorden.
- KROGH, SCHACK STEENBERG AUGUST, Dr. phil., Professor i Dyrefysiologi ved Københavns Universitet.
- NØRLUND, NIELS ERIK, Dr. phil., Professor i Matematik ved Universitetet i Lund.
- BOHR, NIELS DAVID HENRIK, Dr. phil., Professor i theoretisk Fysik ved Københavns Universitet. Ridder af St. Olavsordenen.
- PEDERSEN, PEDER OLUF, Professor i Elektroteknik ved Polyteknisk Læreanstalt, dekoreret med Fortjenstmedaillen i Guld.
- CHRISTENSEN, ARTHUR, Dr. phil. Professor i iransk Filologi ved Københavns Universitet.
- GRØNBECH, VILH. PETER, Dr. phil. & theol., Professor i sammenlignende Religionshistorie ved Københavns Universitet.
- BOHR, HARALD AUGUST, Dr. phil., Professor i Matematik ved Polyteknisk Læreanstalt.
- SCHMIDT, JOHANNES, Dr. phil., Direktør for Carlsberglaboratoriets fysiologiske Afdeling, Ridder af Danebrog, Ridder af den norske St. Olavs Orden, af den siamesiske Krone Orden og af den tunesiske Nichau-el-Iftikar Berømmelsesorden, dekoreret med den italienske Jordskælvsmedaille.
- WESENBERG-LUND, CARL, Dr. phil., Leder af Universitetets biologiske Ferskvands-Laboratorier.
- BØGGILD, OVE BALTHASAR, Professor i Mineralogi ved Københavns Universitet.
- HERTZSRUNG, EJNAR, Underdirektør ved Observatoriet i Leiden.

## UDENLANDSKE MEDLEMMER

- RETZIUS, MAGNUS GUSTAV, Dr. med. & phil., fh. Professor i Histologi ved det Karolinske mediko-kirurgiske Institut i Stockholm.
- SIEVERS, EDUARD, Dr. phil., Professor i germansk Filologi ved Universitetet i Leipzig.
- WUNDT, WILHELM, Dr. phil., Professor i Filosofi ved Universitetet i Leipzig.
- LEFFLER, GÖSTA MITTAG-, Dr. phil., fh. Professor i Matematik ved Højskolen i Stockholm, Kommandør af Danebrog og dekoreret med Fortjenstmedaillen i Guld med Krone.
- NATHORST, ALFRED GABRIEL, Dr. phil., Professor, Intendant ved Riksmuseets botanisk-palæontologiske Afdeling i Stockholm.
- SARS, GEORG OSSIAN, Professor i Zoologi ved Universitetet i Kristiania.
- BREFELD, OSCAR, Dr. phil., Professor i Botanik, Direktør for det botaniske Institut i Breslau.
- TEGNÉR, ESAIAS HENRIK VILHELM, Dr. phil. & theol., fh. Professor i østerlandske Sprog ved Universitetet i Lund.
- BRØGGER, VALDEMAR CHRISTOFER, Professor i Mineralogi og Geologi ved Universitetet i Kristiania, Ridder af Danebrog.
- HAMMARSTEN, OLOF, Dr. med. & phil., fh. Professor i medicinsk og fysiologisk Kemi ved Universitetet i Upsala.
- KLEIN, FELIX, Dr. phil., Professor i Matematik ved Universitetet i Göttingen.
- SCHWARZ, CARL HERMANN AMANDUS, Dr. phil., Professor i Matematik ved Universitetet i Berlin.
- STORM, JOHAN FREDERIK BREDÅ, LL. D., fh. Professor i romansk og engelsk Filologi ved Universitetet i Kristiania.
- COMPARETTI, DOMENICO, fh. Professor i Græsk, Firenze.
- SCHWENDENER, SIMON, Dr. phil., Professor i Botanik ved Universitetet i Berlin.

SÖDERWALL, KNUT FREDERIK, Dr. phil., fh. Professor i nordiske Sprog ved Universitetet i Lund.

DÖRPFELD, WILHELM, Professor, Dr. phil., første Sekretær ved det tyske arkæologiske Institut i Athen.

PEFFER, WILHELM, Dr. phil., Professor i Botanik ved Universitetet i Leipzig.

BÄCKLUND, ALBERT VICTOR, Dr. phil., fh. Professor i Fysik ved Universitetet i Lund.

LORD RAYLEIGH, JOHN WILLIAM STRUTT, Dr. phil., D. C. L., Chancellor of the University of Cambridge; Terling Place, Witham, Essex.

WILAMOWITZ-MOELLENDORFF, ULRICH VON, Dr. phil., Professor i klassisk Filologi ved Universitetet i Berlin.

HERTWIG, OSCAR, Dr. med., Professor i sammenlignende Anatomi og Direktør for det 2det anatomisk-biologiske Institut ved Universitetet i Berlin.

PICARD, CHARLES-ÉMILE, Medlem af det franske Institut, Professor i højere Algebra ved la Faculté des Sciences, Paris.

VRIES, HUGO DE, Dr. phil., Professor i Botanik ved Universitetet i Amsterdam.

PETTERSSON, OTTO, Dr. phil., fh. Professor i Kemi ved Stockholms Højskole, Kommandør af Danebrog.

BRUGMANN, FRIEDRICH KARL, Dr. phil., Professor i indo-germansk Filologi ved Universitetet i Leipzig.

ENGLER, ADOLPH, Dr. phil., Professor i Botanik ved Universitetet i Berlin.

GOEBEL, KARL, Dr. phil., Professor i Botanik ved Universitetet i München.

HASSELBERG, KLAS BERNHARD, Professor, Fysiker ved Vetenskapsakademien i Stockholm.

DIELS, HERMANN, Dr. phil., Professor i klassisk Filologi ved Universitetet i Berlin.

PAVLOV, IVAN PETROVIČ, Professor i Fysiologi ved det militærmedicinske Akademi i Petrograd.

RHYS DAVIDS, T. W., Professor i Pali og buddhistisk Litteratur ved University College i London.

ARRHENIUS, SVANTE, Dr. phil., Professor i Fysik ved Højskolen i Stockholm, Kommandør af Danebrog.

KOCK, AXEL, Dr. phil., fh. Professor i nordiske Sprog ved Universitetet i Lund, Kommandør af Danebrog.

#### XIV

- NOREEN, ADOLF GOTTHARDT, Dr. phil., Professor i de nordiske Sprog ved Universitetet i Upsala.
- MEYER, EDUARD, Dr. phil., Professor i Historie ved Universitetet i Berlin.
- HILDEBRANDSSON, H. H., Professor i Meteorologi og Geografi ved Universitetet i Upsala, Kommandør af Danebrog.
- WILLE, N., Dr. phil., Professor i Botanik ved Universitetet i Kristiania.
- VOGT, J. H. L., Professor i Metallurgi ved Universitetet i Kristiania.
- THÉEL, HJALMAR, Dr. phil., fh. Professor og Intendant ved Riksmuseets Evertebratafdeling i Stockholm.
- TULLBERG, TYCHO F., Dr. phil., Professor i Zoologi ved Universitetet i Upsala.
- HILBERT, DAVID, Dr. phil., Professor i Matematik ved Universitetet i Göttingen.
- OSTWALD, FRIEDRICH WILHELM, Dr. phil., fh. Professor i Kemi ved Universitetet i Leipzig; Grossbothen, Sachsen.
- AMIRA, KARL KONRAD FERD. MARIA V., Dr. phil., Professor i tysk Ret og Retshistorie ved Universitetet i München.
- WIDMAN, OSKAR, Dr. phil., Professor i Kemi ved Universitetet i Upsala.
- DEWAR, SIR JAMES, Professor i Kemi ved Royal Institution, London.
- NOETHER, MAX, Dr. phil., Professor i Matematik ved Universitetet i Erlangen.
- PENCK, ALBRECHT, Dr. phil., Professor i Geografi ved Universitetet i Berlin.
- SEGRE, CORRADO, Dr. phil., Professor i højere Geometri ved Universitetet i Turin.
- OMONT, HENRI-AUGUSTE, Medlem af det franske Institut, Konservator ved Manuskript-Departementet i Bibliothèque Nationale i Paris.
- ERIKSSON, JAKOB, Dr. phil., fh. Professor, Forstander for den plantefysiologiske og landbrugsbotaniske Afdeling af Landbruks-Akademien i Experimentalfält ved Stockholm.
- HIORTDAHL, THORSTEIN HALLAGER, Dr. phil., Professor i Kemi ved Universitetet i Kristiania.
- TIGERSTEDT, ROBERT, Dr., Professor i Fysiologi ved Universitetet i Helsingfors.
- FISCHER, EMIL, Dr. phil., Professor i Kemi ved Universitetet i Berlin.
- LANGLEY, J. N., Dr., Professor i Fysiologi ved Universitetet i Cambridge (England).
- SCHÜCK, J. HENRIK E., Dr. phil., Professor i Æsthetik samt Litteratur- og Kunsthistorie ved Universitetet i Upsala.
- TARANGER, ABSALON, Dr. jur., Professor i Retsvidenskab ved Universitetet i Kristiania.

- LAVISSE, ERNEST, Medlem af Académie Française, Professor i moderne Historie, Direktør for École normale supérieure, Paris.
- VINOGRADOV, PAUL, Corpus Professor i Retsvidenskab ved Universitetet i Oxford.
- DREYER, GEORGES, Dr. med., Professor i Pathologi ved Universitetet i Oxford.
- KOSSEL, ALBRECHT, Dr. med., Professor i Fysiologi ved Universitetet i Heidelberg.
- CEDERSCHÖLD, GUSTAF, Dr. phil., fh. Professor i det nordiske Sprog ved Göteborgs Højskole.
- MONTelius, OSCAR, Dr. phil., Professor, fh. Riksantiquarie, Stockholm, Kommandør af Danebrog.
- ERMAN, ADOLF, Dr. phil., Professor i Ægyptologie ved Universitetet og Direktør for det Ægyptiske Museum i Berlin.
- GEIKIE, SIR ARCHIBALD, Geolog og Mineralog, Præsident for Royal Society i London.
- VOIGT, WOLDEMAR, Dr. phil., Professor i Fysik ved Universitetet og Bestyrer af det fysiske Institut i Göttingen.
- GOLDZIEHER, IGNACZ, Dr. phil., Professor i semitisk Filologi ved Universitetet i Budapest.
- BERTRAND, GABRIEL, Professor i biologisk Kemi ved Sorbonne og Direktør for det biologiske Laboratorium ved Institut Pasteur i Paris.
- HALLER, ALBIN, Medlem af det franske Institut, Professor i organisk Kemi ved Sorbonne i Paris.
- NERNST, WALTER, Dr. phil., Professor i fysisk Kemi og Direktør for det fysisk-kemiske Institut ved Universitetet i Berlin.
- GRIFFITH, FRANCIS LLEWELLYN, Reader i Ægyptologi ved Universitetet i Oxford.
- HUNT, ARTHUR SURRIDGE, Dr., Lecturer i Papyrologi ved Universitetet i Oxford.
- SCOTT, DUNKINFIELD HENRY, fh. Honorary Keeper of the Jodrell Laboratory, Royal Botanic Gardens, Kew, Præsident for Linnean Society of London og for Microscopical Society of London, East Oakley House.
- WARBURG, EMIL, Dr. phil., Professor, Præsident for den fysisk-tekniske Rigsanstalt Charlottenburg, Berlin.
- BÉDIER, JOSEPH, Professor i fransk Sprog og Litteratur ved Collège de France, Paris.
- BERGSON, HENRI, Medlem af det franske Akademi, Professor i Filosofi ved Collège de France, Paris.
- BOUTROUX, ÉMILE, Medlem af det franske Akademi, Filosof, Direktør for Fondation Thiers, Paris, Kommandør af Danebrog.
- CUMONT, FRANZ, Dr. phil., Religionshistoriker.

SCHÄFER, DIETRICH, Dr. phil., Professor i Historie ved Universitetet i Berlin, Kommandør af Danebrog.

WARD, JAMES, Professor i Filosofi ved Universitetet i Cambridge, England.

HADAMARD, JACQUES, Medlem af det franske Institut, Professor i Mekanik ved Collège de France, og i matematisk Analyse ved École polytechnique, Paris.

MACDONELL, A. A., Professor i Sanskrit ved Universitetet i Oxford.

SCHUCHARDT, H., Dr. phil., fh. Professor i romanske Sprog ved Universitetet i Graz.

SCHWARTZ, E., Dr. phil., Professor i klassisk Filologi ved Universitetet i Strassburg.

SETÄLÄ, N. E., Dr. phil., Senator, fh. Professor i finsk Sprog og Litteratur ved Universitetet i Helsingfors.

LORENTZ, H. A., Dr. phil., Professor i Fysik ved Universitetet i Leiden og Kurator for det fysiske Laboratorium ved Teylers Stiftelse i Harlem.

SHERRINGTON, CHARLES S., Professor i Fysiologi ved Universitetet i Oxford.

HÆGSTAD, MARIUS, Professor i det norske Landsmaal og dets Dialekter ved Universitetet i Kristiania.

NILSSON, MARTIN P., Dr. phil., Professor i klassisk fornkunskap og Antikens historia ved Universitetet i Lund.

OLSEN, MAGNUS BERNHARD, Dr. phil., Professor i oldnorsk og islandsk Sprog og Litteratur ved Universitetet i Kristiania.

FALK, HJALMAR S., Dr. phil., Professor i germansk Filologi ved Universitetet i Kristiania.

LUNDELL, J. A., Dr. phil., Professor i de slaviske Sprog ved Universitetet i Upsala.

DANIELSSON, OLOF AUGUST, Dr. phil., Professor i græsk Sprog og Litteratur ved Universitetet i Upsala.

DE GEER, GERARD JACOB, Friherre, Dr. phil., Professor i Geologi ved Højskolen i Stockholm.

GRANQVIST, GUSTAF, Dr. phil., Professor i Fysik ved Universitetet i Upsala.



# FURESØSTUDIER

EN BATHYMETRISK

BOTANISK ZOOLOGISK UNDERSØGELSE

AF MØLLEAAENS SØER

AF

C. WESENBERG-LUND

UNDER MEDVIRKNING AF

OBERST M. J. SAND, MAG. J. BOYE PETERSEN, FRU A. SEIDELIN RAUNKIÆR  
OG MAG. SC. C. M. STEENBERG

MED 7 BATHYMETRISKE KORT, 7 VEGETATIONSORT, 8 TAVLER OG  
CA. 50 I TEXTEN TRYKTE FIGURER

*AVEC UN RÉSUMÉ EN FRANÇAIS*

D. KGL. DANSKE VIDENSK. SELSK. SKRIFTER, NATURVIDENSK. OG MATH. AFD., 8. RÆKKE, III. 1



KØBENHAVN

HØVEDKOMMISSIONÆR: ANDR. FRED. HØST & SØN, KGL. HOF-BOGHANDEL

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1917



## FORTALE

Mølleaaen er kun et meget lille Vandløb, ialt næppe 38 km, over 9 km løber den gennem Søer. Den udspringer i Bastrup Sø og forlader denne i det østlige Hjørne, løber gennem en meget bred og smuk Erosionsdal og falder derpaa ud i Farum Sø; efter at være løbet ud af den gennem det østlige Hjørne falder den straks efter ud i Furesø. Denne Sø forlades i det sydøstlige Hjørne, og Aaen løber nu som Fæstningskanal ind i Lyngby Sø. Medens Retningen hidtil overvejende har været østlig, bliver den, naar Aaen forlader Lyngby Sø, stik nordlig. Den gennemløber nu ikke flere Søer, men danner et nyt Knæ ved Ørholm, hvorpaa Retningen igen bliver stik østlig. Den falder ud i Oresund ved Strandmøllen. Til Afvandingsomraadet hører endvidere den lille Søllerød Sø og Vejlesø, samt Bagsværd Sø. Hulso har tidligere været i Forbindelse med Bagsværd Sø, men er det den største Del af Aaret næppe mere.



Fig. 1. Kort over Mølleaaens Sodrøg.

Hvor lille Aaen end er, har den i industriel Henseende maaske haft mere Betydning end nogen anden dansk Aa (NYROP, 1878, p. VII). Den har jo igennem flere Aarhundreder drevet et ret stort Antal Møller, der senere hen blev til store Fabrikker. Dette har, lige fra det Øjeblik den forlader Lyngby Sø, forlængst præget den og dens Floddal. Vandet er her, naar Lyngby er passeret, sort som Blæk, og store Kager af kemiske Stoffer flyder paa dens Overflade. Dens Kraft er svækket, den er ude af Stand til at holde sin Floddal ren; store Mængder af Affaldsstoffer fra Fabrikkerne aflejres som sort, stinkende Dynd ved Bredderne. Til Tider er Vandet, der forlader Fabrikkerne, dræbende varmt for alle Aaens Skabninger. Bortset fra Forraadelsesorganismer er dens Flodseeng fra Lyngby af nu nærmest steril.

Der har været en Tid, hvor den i hele sit Løb har huset den samme Aafauna, der endnu den Dag i Dag karakteriserer de jyske Aaer, og hvoraf fraspregnede Rester stadig er paaviselige i Aaens øverste Del: en Tid, hvor Øresundets Dyreliv er trængt op igenem Aaen, hvor Aalen vandre de ind i Furesø, hvor Helt og Smelt gik ud og ind, hvor Flokke af Mysider trængte op gennem Aaen, og hvor Bundfaunaen som visse Amphipoder (*Pallasiella quadrispinosa*, *Pontoporeia affinis*) langsomt har arbejdet sig op til Søerne. Den Indvandring er for længst forbi. I Decennier i hvert Fald har det været en Umulighed for nogensomhelst Skabning at forcere Vejen fra Havet op til Søerne.

Men den ene af disse, Furesø, rummer i sin Fauna endnu Rester af hine fjærne Tider; Helten er forlængst uddød, men den er fundet fossil i de nære Allerødlag. For Aalen er der stængt; den bliver nu til Dags trillet paa Vogne ind i Söen. Smelten lever der vel, men kun i en kummerlig Race; meget tyder paa, at dens Dage i Söen snart er talte. Endnu trækker Mysiderne, Efterkommerne af Ishavenes Mysider, som Flokke langs dens dybeste Søbund, i hvis bløde Mudder ovennævnte Amphipoder stadig lever. Disse Krebsdyr, der hos os aldrig er fundet udenfor Furesø, er levende Minder om hine fjærne Tider, da Mølleaaen var en brusende Ström, hvis friske, klare Vover banede sig Vej gennem lyng- og skovklædte Bakker.

Mølleaaens Liv var en evig Kamp. Kampen har været haardere for den end for de fleste danske Aaer. I længst forsvunden Tid tvang rimeligvis Isen den ved Udløbet af Lyngby Sø til at forandre sin Hovedretning fra stik Øst til stik Nord. Den har stridt haardt for at faa sin Flodseng bragt i Orden; men under Arbejdet hermed blev den en af de Faktorer, der stærkest bidrog til i Egnen om Ørholm at skabe en af de skønneste og ejendommeligste Pletter i nordsjællandsk, maaske i dansk Natur. Da Lejet først en Gang var dannet, kom en lang, rolig Tid. I Sekel paa Sekel sleb den sin Flodseng ud gennem Bakkerne og sankede den stadig dybere og dybere ned mellem disse. Saa indtraf det Tidspunkt, da Mennesket for nogle Aarhundreder siden tog den i sin Tjeneste. Nu sliber den Knive og Sakse; den hjælper til ved Tøjfarvning, Gardinvævning, Uldtæppevask og Papirfabrikation. Den er forlængst bastet og bunden, men dens sorte Vande, den underlig døde Floddal fortæller den gamle Historie om og om igen. Historien om, at intet erhverves for intet, og at alt, hvad der for os Mennesker i Øjeblikket staar som Vinding og Indtægt, før eller senere ogsaa faar sin Konto paa Tabslisten, en Sandhed som kun sjælden staar levende for den, i hvis Lod det falder at gribe omformende ind i et ejendommeligt Landskabs Naturforhold.

Thi død er Floddalen nu nedenfor Lyngby, saa død som den maa blive, naar Vandet selv er dødt, naar det ingen Organismer huser, og naar Vandfuglene i det store og hele mangler. Industrielt blev Aaen udnyttet; den har bidraget sit til at nære flere Munde end vistnok de fleste andre danske Aaer. Men nægtes kan det næppe, at dette kun opnaaedes ved at ødelægge et Stykke Natur, der i Hovedstadens umiddelbare Nærhed ogsaa paa anden Vis kunde have faaet Betydning for de mange.

Endnu holder — mærkelig nok — Isfuglen til i Aaens øvre Løb, og Vandstæren besøger hvert Aar dens Bredder.

## INDLEDNING

En af de Opgaver, det Ferskvandsbiologiske Laboratorium naturlig maatte stille sig, var Tilvejrbringelsen af bathymetriske Kort over vore større Søer. Det kunde vel ikke ventes, at Udarbejdelsen af saadanne Kort vilde give synderlig nye eller uventede Resultater, men det drejede sig alligevel om en Opgave, som man, naar et saadant Laboratorium var oprettet, ikke ret vel kunde lade helt ude af Betragtning. Det synes at være en alm. Regel, at den Del af et Territoriums Reliefforhold, hvortil Kendskabet sidst af alt erhverves, er vedkommende Territoriums Søbunde. Kendskabet til de tilgrænsende Havets Dybder og Landes Højdeforhold over Havet gaar altid forud for Kendskabet til Dybdeforholdene i de Søer, som findes i vedkommende Landomraade. Dette er fuldkomment naturligt, thi Kendskabet til Søbundens Reliefforhold spiller hverken kommercielt eller industrielt den Rolle, som Kendskab til Oceanernes Dybdeforhold og til Fastlandets Terrainforhold nødvendigvis gør. Ogsaa for Ferskvandsfiskerierne har de bathymetriske Kort, særlig i et Land, hvor Søerne er saa smaa som vore, og hvor selv de største kun ernærer nogle faa Fiskerfamilier, en meget ringe Betydning. Kun naar Søbækkenernes samlede Vandmasse skal udnyttes industrielt, maa Søens Middeldyb, for at man kan danne sig et Skøn over, hvor længe Vandet opholder sig i Søen, og hvor stor Søens samlede Vandmasse er, nødvendigvis kendes. Hertil kræves imidlertid et nøjere Kendskab til Søens Bathymetri; hvor der har været Tale om slig Udundtelse, er derfor altid bathymetriske Undersøgelser gaaet forud.

Det er egentlig først i de sidste 30 Aar, at man har begyndt at udføre nojagtige bathymetriske Kort over Søerne; endnu er saadanne væsentlig kun udarbejdede over europæiske Søer. Som de, der er bedst kendt og snarest vedkommer os, maa særlig her fremhæves FOREL's Kort over Genfersøen (1892); Bodenseeforschungen's Kort over Bodensee (1893); PENCK's og RICHTER's; Atlas der oesterreichischen Alpenseen (1897). GEISTBECK's Kort over: Die Seen der deutschen Alpen (1885); DELEBEQUE's Kort over: les lacs français (1898); BRAUN's (1894), og BLUDAU's (1903) Undersøgelser over nordtyske Søer i ca. 1900, UHLE's over Starnbergersee 1901, SAMTER's over Müritsee 1905, HALBFASS' Undersøgelser i Nordtyskland i 1900—1910. TRYBOHM's Kort over en Del svenske Søer 1895—1905, RAMSAY's Kort over Ladoga i 1911, de ungarske Undersøgelser over Balatonsee (1897) og Russernes over Aral- og Bajkalsoen.

Det største og betydningsfuldeste Arbejde er dog det, Sir JOHN MURRAY efter egen Plan og for en stor Del for sine egne Midler i de sidste 10 Aar har ladet udføre over skotske Søer. Resultatet foreligger i 6 store Bind: Bathymetrical Survey of the Freshwater lochs

in Scotland (1910); det kolossale Arbejde og den mægtige Publication med flere Hundrede Kort er bekostet af ham og en anden skotsk Rigmand, Mr. L. Pullar.

Her hjemme er i saa Henseende hidtil næsten intet udrettet; FÆDDERSEN har tegnet et bathymetrisk Kort over Tjustrup Sø, Birkedommer FIEDLER et over Esrom Sø, Amtmand VEDEL et over Sorø Sø og FEILBERG et over Arresø; Kortene er maaske i sig selv meget gode, men paa en større Nøjagtighed gør de næppe Krav. De Oplysninger, som det var muligt at skaffe Prof. HALBFASS, da han udarbejdede sit Værk: Die Morphometrie der europäischen Seen (1903), var derfor kun ubetydelige; da Arbejdet kom, viste det sig, at Danmark paa dette Omraade stod tilbage for de fleste andre Lande.

I adskillige Lande er de bathymetriske Undersøgelser af de ferske Vande knyttet nær til vedkommende Landes geologiske Undersøgelser (JENTSCH: Nordtyskland, RAMSAY: Finland); Søerne undersøges saavidt muligt i nøje Tilknytning til Udarbejdelsen af de Maalebordsblade, hvorpaa Søerne ligger. Dette er i mine Øjne ogsaa den naturlige Fremgangsmaade.

I Virkeligheden er Spørgsmaalet om Maaden, hvorpaa vore Søbækkener er opstaaede og udformede, ingenlunde uden geologisk Interesse. Basis for en hvilken som helst Drøftelse i saa Henseende maa altid det bathymetriske Kort være. Isen, der har formet vort Lands Overflade med dets Høje og Dale, har ogsaa enten direkte ved sin furende Kraft eller ved sine Gletscherfloder udhulet og dannet Søbækkenerne. Under Israndens Oscillationer har Aflob og Tillob skiftet Plads og Vandstanden varieret. Om alt sligt aflægger mer end et af vore Søbækkener Vidnesbyrd. Siden Istiden har Søbækkenerne været de store Bassiner, hvori Masser af Materiale har bundfældet sig. Den primære Bund ligger mer eller mindre dybt under det sedimenterede Materiale. Dette Materiales Beskaffenhed, afhængigt som det er af de Jordarter, hvorigennem Floerne skærer deres Lejer, og af de Omdannelsesprocesser, der foregaar paa Søbunden, kan ikke siges at mangle geologisk Betydning.

Ud fra disse Betragtninger og i Overensstemmelse med Forholdene i andre Lande, laa det da nær, at de bathymetriske Undersøgelser blev knyttede til Danmarks geologiske Undersøgelser. Herimod blev da i første Instans mine Bestræbelser rettede; dog her stødte jeg paa afgjort Modstand. Det er en ubestridelig Kendsgerning, at naarsomhelst der indenfor de geologiske Kortblade har været Landoverflade, der har været dækket med Ferskvand, har Danmarks geologiske Undersøgelse altid gaaet ud fra, at i saa Fald kom det Stykke Land ikke Undersøgelsen ved; Kortbladene over Nordsjælland, hvorpaa der dog ligger nogle af vort Lands største Søer, er faktisk færdig udarbejdede, uden at man faar andet at vide om Søerne end deres Størrelse, deres maximale Dybde og delvis lidt om deres større Udbredning i ældre Tid. Det var for en væsentlig Del Henvendelsen fra Prof. HALBFASS og ikke mindst en Meddelelse om, at han selv foreløbig ønskede at udarbejde et bathymetrisk Kort over vor interessanteste Sø, Hald Sø, der bevirkede, at jeg henvendte mig til Carlsbergfondets Direktion med Forespørgsel, om det vilde hjælpe til, at Undersøgelsen kom i Gang. Da jeg maatte formode, at Svaret vilde blive gunstigt, udarbejdedes foreløbig følgende Arbejdsplan.

Det maatte være naturligt at undersøge de til et samlet Afvandingsomraade hørende Søer. Da den aldeles overvejende Del af de ferskvandsbiologiske Undersøgelser var udført i de Søer, der hører til Mølleaaens Afvandingsomraade, ansaas det for rigtigst



at paabegynde Undersøgelsen her. Hertil kom, at den største af de her omhandlede Søer, Furesø, vistnok tillige er vort Lands dybeste Sø med Dybder efter Sigende paa ca. 38 m.

Der foresloges altsaa en bathymetrisk Undersøgelse af Mølleaaens Søer, ialt 6 — nemlig: Aaens Kildesø, Bastrup Sø, Farum Sø, Furesø, Bagsværd Sø, Lyngby Sø og Solle-rød Sø. Da man imidlertid maatte vente, at selve de bathymetriske Resultater i det hele ikke vilde blive særlig interessante, samt at Kortene ikke heller vilde kunne faa synderlig praktisk Betydning, maatte det være ønskeligt — for at give hele Undersøgelsen større Værd — at man benyttede Lejligheden til at knytte visse biologiske Biunder-søgelser til Hovedundersøgelsen.

1. Der maatte formentlig blive en let og enestaaende Lejlighed til under Hovedundersøgelsen at faa Søernes Vegetation nøje kortlagt. Ganske særlig har vort Kendskab til de submerse Plantebælters Udbredelse udadtil, saavel som ogsaa deres floristiske Sammensætning, vistnok hidtil været meget ringe. Bortset fra den botaniske Interesse, der vilde knytte sig til Undersøgelsen, hvis den udvidedes paa den angivne Maade, vilde denne ogsaa vinde i ren limnologisk Henseende. Det er altid af Interesse at være klar over, hvorledes Størrelsesforholdet i en Sø er mellem den plantebevoksede Del af Søbunden og den nøgne Søbund. Dette Forhold kan beregnes som en simpel Brok, der vistnok i mange Tilfælde ret nøje er i Stand til at angive vedkommende Søs Værdi i forskellige rent praktiske Henseender: Rorskaer, Fiskerisporgsmaal; man tør formentlig gaa ud fra, at under iøvrigt lige Forhold vil den Sø, der har det bredeste Vegetationsbælte og det ringeste vegetationsløse Areal for mange Fisks Vedkommende, ogsaa være den, der bedst egner sig som Fiskevand. Kendskabet til Vegetationsbæltets Bredde vil endvidere, naar Talen bliver om at sænke Vandstanden og samtidig søge at raade Bod paa den Skade, der forvoldes ved at forringe Legepladsernes Størrelse, være af ikke ringe Betydning. Der kan endvidere gøres opmærksom paa, at Forholdet mellem den vegetationsløse og den vegetationsdækkede Del af Søbunden delvis angiver Forholdet mellem den iltforbrugende og iltproducerende Del af Søbunden. Kendskabet til denne Faktor bør vistnok heller ikke undervurderes, men for stor Vægt kan der dog ikke lægges paa den, dels fordi ogsaa Planktonet spiller en stor og maaske større Rolle som Iltproducent, dels fordi baade Vegetationszonen og den pelagiske Region jo ikke alene er iltproducerende, men ogsaa paa Grund af det rige Dyreliv og under Dekompositionsprocesserne er Iltforbruger. Noget Maal for Iltforbruget haves ikke og kan vanskelig faas, bl. a. fordi det skifter til de forskellige Aarstider og fra Aar til Aar. Alligevel tror jeg, at man i fremtidige Sobeskrivelser ved Siden af Angivelsen over Størrelse, H. o. H. o. s. v. burde opføre et Tal, der angav Størrelsesforholdet mellem den vegetationsdækkede og vegetationsfrie Del af Søbunden.

2. I 1901 blev mit Arbejde: »Studier over Søkalk, Bonnemalm og Søgytje« publiceret. Disse Studier blev ganske særlig udført i Furesøen og havde blandt andet den Opgave at udrede Kalkalcejringernes Genese. Den kemiske Side af Sagen behandledes senere af BRØNSTED i hans og mit Arbejde: Chemisch-physicalische Untersuchungen der dänischen Gewässer (1912). Siden den Tid har mange beskæftiget sig med disse Spørgsmaal. Det traf sig saa heldigt, at PASSARGE, samtidig med at jeg studerede Kalkalcejringerne i Furesø, underkastede ganske lignende Dannelser i Lychenørsøerne (Havel

systemet) en omhyggelig Undersøgelse. Hans Arbejde udkom først (1902, p. 79). Paa alle væsentlige Punkter er der fuld Overensstemmelse, men da PASSARGE har behandlet Sagen væsentlig fra den kemiske, jeg hovedsagelig fra den biologiske Side, supplerer de to Arbejder, som PASSARGE siger, hinanden godt. Endvidere har STEUSLOFF (1905) leveret et vigtigt Bidrag, som skal omtales senere. En hel Del af de i det Følgende omtalte Dannelser hører med under de forskellige Aflejringer, som er blevet indgaaende beskrevet af PORONIÉ. Han har for disse Aflejringer udarbejdet et udførligt System og betegnet de forskellige Dannelser med en Mængde fremmede Navne. Idet PORONIÉ har valgt næsten ikke at tage nogetsemhelst Hensyn til de nordiske Forskere, særlig ikke til v. POST's gamle, banebrydende Arbejder, er det for os nordiske Forskere vanskeligt nok at tage tilbørligt Hensyn til hans Arbejder, særlig fordi det er svært at se, hvor i hans Schema'er de af os undersøgte Dannelser skal indordnes.

Det fremgik imidlertid af flere af de her nævnte saavel som af andre Undersøgelser, at der dog var en Del af Kalkaflejringerne, som burde tages op til fornyet Studium. Det drejede sig her om de saakaldte Skalbælter. Om dem er der i Tidens Løb opstaaet en hel lille Litteratur, som senere skal omtales.

3. Ved Undersøgelsen i Furesøen var der endvidere konstateret ret betydelige Aflejringer af Brunjærnsten. Disse fandtes altid i Skalbæltet, og det paavistes, at Brunjærnstensdannelsen var knyttet til Molluskskallerne, særlig til Valvater og Muslinger. Gennem Billeder blev det direkte godtgjort, hvorledes Skallerne langsomt omdannedes fra Kalk til Brunjærnsten. Den nærmere Aarsag til Fænomenet, der paa det Tidspunkt saavel som nu var ganske enestaaende, kunde ikke gives. Det maatte formentlig være ønskeligt, om disse Brunjærnstensaflejringer kunde blive kortlagt.

4. Endnu et Felt skulde inddrages i Undersøgelsen. I 1908 havde jeg givet en Beskrivelse af Furesøens Brændingsfauna og derved paavist, at der ligesom i Havet ogsaa i Ferskvand findes en Fauna tilpasset til Brændingszonens urolige Forhold. Den er senere genfundet og paavist i Schweizersøerne. Fortsatte Studier havde vist mig, at der ude i 4—6 m Dybde, der, hvor Vegetationen er frodigst, lever et ejendommeligt Dyresamfund, hvortil vort Kendskab i Øjeblikket er ringe. Dette Samfund vilde jeg gerne have nærmere undersøgt.

5. Ogsaa et nøjere Kendskab til den dybeste Søbunds Fauna var ønskelig.

Jeg henvendte mig da til Carlsbergfondets Direktion med Forespørgsel, om det vilde bekoste følgende Undersøgelse:

1. En bathymetrisk Undersøgelse af Mølleaaens Søer.
2. En Undersøgelse af Søernes Plantebælter med Vægten lagt særlig paa Studiet af de submerse Bælter.
3. Et Studium af Furesøens Molluskfauna særlig med Henblik paa Skalflejringer og Brunjærnstensaflejringer.

Det 4de og 5te Punkt, Dyrelivet paa 4—6 m og paa den dybeste Søbund, omtaltes ikke, da jeg ikke var sikker paa, om jeg kunde faa det med.

I 1911—13 bevilgede Carlsbergfondets Direktion tre Summer, ialt 1735 Kr. For denne Bevilling bringer jeg den højtærede Direktion min ærbødigste Tak. Dernæst rettede jeg en Henvendelse til Chefen for Generalstabens topografiske Afdeling, Oberst M. J. SAND, med Forespørgsel, om Afdelingen vilde være os behjælpelig med Opmaalingen, og om den tillige vilde anvise os den til et saadant Arbejde bedste Methode. Med stor Beredvillighed gik Obersten ind derpaa. I et særligt Afsnit har han efter min Anmodning gjort Rede for den anvendte Methode. Endvidere henvendte jeg mig til Hr. cand. mag. BOYE PETERSEN med Forespørgsel, om han som Botaniker vilde deltage i Undersøgelsen, optage Lister over Planterne i Soen, afstikke Plantebælterne etc. Fremdeles bad jeg Fru SEIDELIN RAUNKJER om for Furesøens Vedkommende at tage sig af de submerse Bælter, navnlig lægge Vægten paa Soens Characéflora, og disses Udbredning. Yderligere anmodede jeg Mag. STEENBERG, om han vilde underkaste Soens Molluskfauna en omhyggelig Undersøgelse og særlig have sin Opmærksomhed henvendt paa Skalbæltefenomenet, Skallers Forekomst udenfor dette, saant paa Brunjærnstenen.

Selve den kombinerede bathymetrisk-botaniske Undersøgelse (BOYE PETERSEN og W.-L.) udførtes i Somrene 1911 og 1912. Furesøens submerse Bælter studeredes omhyggeligere af Fru S. R. i 1913; samme Aar fandt ogsaa Mag. STEENBERG's Hovedstudium Sted. Dyrelivet paa 4—7 m har jeg studeret i mange Aar og hidtil indsamlet et stort Materiale. Det følger af sig selv, at den til Undersøgelsen knyttede Stab af Naturforskere udover den angivne Tid har gjort talrige Ekskursioner til Soerne og særlig til Furesø.

Naar Talen er om at oplodde en Sø, maa man gøre sig klar over, hvilken Pladsbestemmelses- og hvilken Loddemethode man vil anvende; herom henvises til Oberst SAND's Afsnit.

Arbejdet under Hovedundersøgelsen foregik paa følgende Maade:

Normalt bestod Arbejdsstaben ialt af 8 Mand. Paa Land: 2 Generalstabsguidere med 2 Menige som Medhjælpere. Paa Soen: Cand. BOYE PETERSEN og jeg; endvidere en Roer og meget hyppig en Mand til, der var behjælpelig med at tage Loddet og Skraber op i Baaden, ialt 8 Mand. Dagen før Baadene gik ud, havde Guiderne været ude med de Menige, bestemt deres Observationspladser og mærket disse ved røde og hvide Flag. Der gaves mig dernæst Kort, der angav mig, hvilken Del af Soen der med en given Opstilling af Maalebordet kunde undersøges.

Naar Guiderne med Menige var bragt paa deres Observationspladser, gik Baaden ud; paa de mindre Soer en Robaad, paa Furesø Laboratoriets Motorbaad, undertiden en Damper. Meget ofte var Cand. BOYE PETERSEN med sin Roer i egen Baad. Naar Baaden var paa Plads, begyndte Arbejdet. Lodskuddene toges i Alm. af mig; for Dybdeangivelserne er jeg ansvarlig.

Journalen fortæller af Cand. B. P. eller af mig, alt eftersom Stationen indeholdt Planter eller ikke.

Mit Princip for Maaden, jeg fulgte under Lodskudstagningen, var følgende: Indenfor det Soareal, jeg med den givne Opstilling af Guiderne skulde undersøge, søgte jeg altid at gaa frem efter rette Linier; Lodskuddene toges ogsaa saavidt muligt med samme Mellemrum. Naar jeg samlede med Guiderne, kunde vi gerne straks se, om der var Steder, hvor der var taget for faa Lodskud; i saa Fald gik jeg ud igen og vinkedes saa af Guiderne hen paa de Steder, hvor Lodskud var ønskelige. Det var dog kun spædte, alt sligt var

nødvendigt. Hvor jeg vidste, eller havde Indtrykket af, at Søbunden frembød større Uregelmæssigheder, tog jeg langt flere Lodskud end der, hvor jeg blev klar over, at Søbunden var en Slette eller frembød en jævn hældende Flade. Det er efter mit Skøn Kombinationen af Princippet om Lodskudslinier med regelmæssige Afstande og det mere subjektive Skøn af, hvor Lodskud fortrinsvis skal tages, der giver det solide bathymetriske Arbejde. Princippet: blot at lægge en Række indbyrdes parallelle Lodskudslinier med samme Afstand tværs over Søen og paa Basis af dem alene at tegne Kurverne, er i mine Øjne ganske forkasteligt; man opnaar derved kun at faa et meget løseligt Skøn over Søens bathymetriske Forhold.

Det er dette Princip, der bevirker, at de fleste limnologiske Kort byder paa saa overordentlig regelmæssige Dybdekurver, som i de fleste Tilfælde vistnok kun har meget lidt med Virkeligheden at gøre. Det, det gælder om, er ligesom at føle sig frem med Loddet over Søbunden og, naar man har Indtrykket af Uregelmæssigheder, lade Lodskuddene falde meget tæt.

For Genfersøens Vedkommende har FOREL arbejdet efter samme Methode som jeg. Ude paa de store Flader har han kun 5 Lodskud pr. Kvadratkilometer, ved Rhonens Indløb, hvor der findes Banker, 110.

Samtidig med at jeg udførte de bathymetriske Undersøgelser, arbejdede Cand. BOYE PETERSEN i Alm. i sin egen Baad med de botaniske Studier. Dette gjordes paa den Maade, at han med saavidt mulig samme Afstand, eller hvor særlige Forhold gjorde det ønskeligt, inde i Land plantede Flag og derpaa trak en 100 m Linie ud vinkelret paa Kysten. Han var endvidere udstyret med lange Bambusstænger inddelte i Metre; for hver 5te Meter toges Dybden. Samtidig toges Dybden, hvor *Phragmites*, *Scirpus* og *Potamogeton* ophørte. Paa Enden af Stangen var en Plade, der bragte de submerse Planter op. Naar BOYE PETERSEN var færdig med Dagens Arbejde, stod der altsaa langs Kysten en Række smaa Flag mellem de store Stationers Flag, som Guiderne havde sat op. Den følgende Dag blev da disse Smaaflag pladsbestemte af Guiderne og indsamlede. Derved fik vi en Mængde yderst nøjagtige Maalinger, dels af Breddernes Hældningsvinkler, dels af Plantevæksterne (se nærmere B. P.'s Afsnit). Nøjagtigheden er drevet saa vidt, at mange særlig fremtrædende Plantegrupper Udstrækning, f. Eks. svømmende Aakande-grupper er blevet nøjagtig trigonometrisk bestemte. For Studiet af Væksten af dem kan dette i Fremtiden faa sin Betydning. (Om Methoderne ved den botaniske Undersøgelse se nærmere B. P.'s Afsnit).

Hvor Vegetationerne havde en Bredde af over 100 m og bestod af uigennemtrængelige Skove af Kogleaks og Ror, gik vi med Motoren ned langs *Scirpus-Phragmites*-Randen og lod denne indlægge ved en Række Punkter, der bestemtes af Guiderne; tillige anvendtes Stadiemaaling (se B. P.).

Medens det er Generalstaben, vi skylder hele den øvrige Arbejdsmethode, er denne Del udført af B. P. og mig. Jeg tror, vi alle var enige om, at denne Afdeling af Undersøgelserne var meget værdifuld; langt fra at sinke Undersøgelsen, simplificerede den denne. Den Del af Kortlægningen, der tager Tid, er nemlig Kystlinien. Er den stærkt indskaaren, kræves der talrige Opstillinger af Guiderne; det er de mange Opstillinger, man saa vidt mulig maa undgaa. Idet B. P. med sine 100 m Linier undersøgte denne, kunde Guiderne se ganske bort fra alle Smaabugter, hvad der sparede megen Tid.



Saalænge Guiderne staar paa deres Observationspladser, kan man indenfor det givne Søareal i Løbet af meget kort Tid tage et stort Antal Lodskud. Om man tager faa eller mange Lodskud, har med Hensyn til Tid og Bekostning meget lidt at sige.

Som enhver Methode har ogsaa denne dog sin Begrænsning. Methoden lader sig i hvert Fald ikke med den her anvendte Signalering bruge paa Søer, hvor Afstanden fra Observationsstedet og til Baaden bliver over ca. 2—3 Kilom. Vore Signalskiver, der maalte ca.  $\frac{3}{4}$  m, kan ikke godt gøres større, da der i Blæst ikke kan manøvreres med dem, og mindre Signalfalder kan i de Afstande ikke ses. Man maa i saa Fald gaa over til andre Signalsystemer, hvis saadanne lader sig tilpasse under disse Forhold.

Den lader sig næppe med Held anvende til mange smaa Søer, da den her er for dyr. Smaa Søer er med denne Methode relativt dyrere at opløde end større. Det er Rejser og Opstilling, der vil medføre dette.

Den lader sig tillige vanskeligt anvende paa Søer med stærkt indskaarne Kystforhold; saadanne medfører en Masse Opstillinger og idelige Flytninger af Observatorerne; derved fordyres ogsaa her Methoden.

Man maa under Arbejdet have sin Opmærksomhed henvendt paa, at det givne Søareal bør gøres absolut færdigt, før et nyt paabegyndes. Det er forbundet baade med betydelig Tidsspilde og derfor med unødvendig Bekostning, naar man, efter at have givet Ordre til, at Guiderne skal flyttes over paa en anden Observationsplads, fordi det Dagen efter viser sig, at der er Huller uden Lodskud, skal før dem tilbage til den gamle Plads igen. Derfor maa de enkelte Søafsnit gøres absolut færdige hver for sig, men dette kan nok have sin Vanskelighed, idet der særlig paa Grænsegebetterne mellem to givne Søarealer kan komme noget for faa Lodskud. Derfor maa man helst her tage lidt rigeligt med Lodskud, men viser der sig Huller, kan man dog i Almindelighed klare sig ved at sætte Fordringerne til Skæringsvinklerne en lille Smule ned.

Anm. Da det for fremtidige Studier kan have sin Interesse at se, hvilke Udgifter en saadan Undersøgelse fører med sig, hid sættes her i sammentrængt Form Regnskabet for den bevilgede Sum:

|  |     |         |
|--|-----|---------|
| Til Udarbejdelse af fotografiske Kopier at anvende ved Undersøgelsen | Kr. | 113,00  |
| - Ophold for 2 Guider og 2 Menige i 39 Dage                          | -   | 775,00  |
| - Vogne (Transport af Materiale fra Sø til Sø)                       | -   | 89,00   |
| - Baade (Damer i 4 Dage)   | Kr. | 120,00  |
| (Motorbaad, Benzin)  | -   | 54,00   |
| (Robaade med Mand, 1 Kr. pr. Time)                                   | -   | 146,00  |
| - den videnskabelige Assistance, væsentlig for Kost og Logis         | -   | 400,00  |
| til Smaaanskaffelser   | -   | 38,00   |
|  | Kr. | 1735,00 |

Af alle Undersøgelsesmetoder er den her anvendte sikkert den dyreste. Vi kan nu nogenlunde være klar over Udgifterne:

En Sø som Furesø (ca. 935,8 ha eller ca. 9.5 Kvadratkilometer) kunde i 1912—14, naar Apparater havdes, bathymetrisk kortlægges og Plantebælter i alt væsentligt afstikkes for ca. 800 Kr. De 633 Lodskud kan tages paa 5 Arbejdsdage ( $8\frac{1}{2}$  M.—6 Eftm.), vel at mærke, naar man har Damer eller stor Motorbaad, og Vejret er godt. Til de 5 Dage, hvori Lodskuddene tages, maa lægges 4 Dage, som Guiderne bruger til at udsøge deres Stationer og indlægge disse paa Kortet. I de samme 9—10 Dage kan Størstedelen af de

botaniske Studier vedrørende de inderste Bælter gøres. I Vindstyrke af 4—5 kan gode Lodskud ikke tages, og i vedholdende Regn kan Guiderne ikke arbejde, da Kortene bliver vaade.

Naar Ekspeditionen var færdig, begyndte Guiderne Arbejde med Kortlægningen af Lodskuddene. Disses Plads blev da vist mig, inden vi næste Gang gik ud, i hvert Fald inden en Sø gjordes færdig. Jeg kunde da gøre mig klar over, om der nogetsteds var glemt at tage nødvendige Lodskud.

Det viste sig snart, at Guiderne havde langt større Øvelse i at tegne Kurver, end jeg kunde tænke mig at faa. Jeg bad derfor Oberst SAND om, at disse vilde tegne dem; de er optrukket af Guide MIKKELSEN. Kun i ganske enkelte Tilfælde har jeg ment, det var heldigst at foretage en mindre Korrektur. Saa meget hellere vilde jeg selv undlade at tegne Kurverne, fordi man under det bathymetriske Arbejde uvilkaarlig danner sig Tanker og Anskuelser, som meget vel kan influere paa den Maade, man trækker Kurverne. Lodskuddene tillader nemlig altid nogen Variation ved Kurvetegningen. Ved at lade Kurverne tegne af en anden, der intetsomhelst kender til ens egne Anskuelser, og tilmed en, der havde stort Kendskab til Kurvetegning, vilde Resultatet formentlig blive langt paalideligere, end hvis man selv gjorde det. Det kan tilføjes, at da jeg ikke stolede paa de gamle Angivelser af Søernes Størrelse, har jeg anmodet Oberst SAND om, at Generalstaben vilde foretage en ny Arealberegning.

Hvad der altsaa nu er vundet gennem Undersøgelsen er følgende:

1. Mølleaaens Søer er undersøgt bathymetrisk. Nu da Kortene foreligger, er jeg klar over, at der i flere Tilfælde vistnok er taget flere Lodskud end nødvendigt. Dette gælder særlig de mindre Søer. Paa Bagsværd Sø er taget 160 Lodskud, Farum Sø har 250, Furesø 633, Lyngby Sø 258, Bastrup Sø 171 og Søllerød Sø 74. Paa Furesø ligger paa hver Kvadratkilometer ca. 70—80 Lodskud; paa de mindre 150—200. Dette Antal er meget stort. UHLE's Kort over Starnbergersee har kun 10 paa hver Kvadratkilometer. FOREL's over Genfersø 21. Paa de mindre Søer er alle 1 m Kurver optegnede, paa Furesø kun hver anden.

2. For første Gang er vistnok et Antal Søers Plantebælter nøjagtig kortlagte. For Furesøens Vedkommende gælder det alle Plantebælter, ogsaa de submerse. For de øvrige Søer kun de Bælter, der var synlige over Vandspejlet. For disse, der fortrinsvis er ganske lave Søer, vilde en Undersøgelse af de submerse Bælter næppe have betalt sig. Skrabninger godtgjorde nemlig, at Søbunden nedenfor 4—5 m enten var fuldkommen nogen eller har smaa spredte Bevoksninger, navnlig af Characeer og *Fontinalis*. Bevoksningernes Forekomst gjorde et ganske tilfældigt Præg; om Bæltedannelse var der absolut ikke Tale.

3. Der foreligger for første Gang et gennemført Studium af en af de baltiske Søers Molluskfauna. Til dette Studium valgtes Furesø. Det var mig noget tvivlsomt, om jeg skulde tilstræbe enten at faa nøjagtige Molluskklister fra hver af Søerne eller faa hele Hovedvægten lagt paa en enkelt Søs Molluskfauna. Videnskabelig set var det sidste langt det værdifuldeste. Faunalister fra de enkelte Søer vilde have grumme ringe Værdi; tildels findes de allerede (A. C. JOHANSEN), tildels ligner disse Lister hinanden meget. For Furesøens Vedkommende er Arternes Variation gengivet i ypperlige Fotografier; deres bathymetriske Udbredelse er med fuld Sikkerhed udredet. Min Opfattelse af Skal-



bæltet er i alt væsentligt blevet bekræftet, om end Forekomsten af Skaller udenfor Skalbæltet er noget større, end jeg troede. At de er bundhøjnende i en bestemt Sødybde er nu utvivlsomt.

4. Brunjærnstenens Forekomst i Søen kan kortlægges; dens Genese maa vistnok i sine Hovedtræk nu siges at være fastslaaet.

5. Furesøbundens Dyreliv er vel nu i alt væsentligt kendt; der er i Kap. 6 givet et Forsøg paa at forstaa den ejendommelige Sammensætning, denne Fauna har.

Det maa bemærkes, at der ikke er taget noget Hensyn til Plantebælterne i Søllerød Sø, ligesom den lille Vejlesø ved Holte slet ikke er medtaget i Undersøgelsen. Grunden hertil er denne, at disse Søer i den Grad er paavirkede af Kulturen, at det var meningsløst at studere Plantebælter, og for Vejlesøs Vedkommende ogsaa Dybdeforholdene. Bredderne er overvejende Villahaver, og i Vejlesø har i Aaringer Søllerød Kommune ledet Spildevandet ind.

Der var adskillige Undersøgelser, jeg gerne havde knyttet til Hovedundersøgelsen og set udført samtidig. Af Hensyn til de botaniske Studier havde det været heldigst, om der havde foreligget Studier over Søvandets Gennemsligtighed maalt med hvid Skive i de forskellige Søer. Skal saadanne have Betydning, maatte de udføres regelmæssig, hver Maaned et Aar igennem. For Furesøens Vedkommende foreligger saadanne fra ældre Tid. Det vides, at Gennemsligtigheden maalt med hvid Skive i Aarets Løb svinger fra 5 til 9 m (W-L. 1904 p. 25). Furesøen hører til vore klareste Søer, men den staar i saa Henseende tilbage for de alpine, dog ikke saa meget som man er tilbøjelig til at tro. Den er klarere end Bodensøen (4.1 m om Sommeren, 6.7 m om Vinteren), Genfersøen er om Sommeren 6, om Vinteren 15,5 (FOREL (1895, p. 418)). Vättern er efter EKMAN (1915, p. 157) mærkværdig klar; om Sommeren 14—17 m.

Jeg havde tænkt mig Muligheden af, at man paa Stationerne, samtidig med at Lodskuddene toges, tillige tog Bundprover op, der skulde konserveres og anvendes til kemiske Undersøgelser. Desværre lod dette sig ikke gøre. Tiden, der medgik til at tage Lodskuddene, var i sig selv saa lang, at det blev umuligt samtidig at sørge for Optagelse af Bundprover. En Gennemførelse af Planen i saa Henseende vilde have medført, at hele Mandskabet, Guider og Menige, var blevet holdt langt over den dobbelte Tid, noget der formentlig ikke var forsvarligt.

Det havde endvidere været baade naturligt og ønskeligt, om man som Afslutning paa Arbejdet havde kunnet give en almen Fremstilling af den Maade, hvorpaa hele det mærkelige Søterrain er dannet.

Det er en mellem Geologer velkendt Sag, at netop det Terrain, som Mølleaen afvander, hører til dem, der i glacialgeologisk Henseende er allervanskeligst at forstaa. Vel er de geologiske Kortblade over Egnen færdige; men det var netop i dette Terrain, at Danmarks geologiske Undersøgelse paabegyndte Arbejdet: Kort og Beskrivelse er udarbejdet næsten ganske uden Hensyn til Glacialfaenomenerne, og uden at de indeholder noget Bidrag til Løsningen af alle Spørgsmaal vedrørende Maaden, hvorpaa Isen og dens Smeltevandsloder udarbejdede Overfladeforholdene.

Har man i Aarevis færdedes i dette i glacial-geologisk Henseende enestaaende interessante Terrain, er det naturligt, at man danner sig en Anskuelse om dets Dan-

nelsesmaade. Gaaende ud fra den Opfattelse, at den bathymetriske Undersøgelse af et Søterrain kun kan betragtes som et supplerende Appendix til de i vedkommende Terrain udførte glacial-geologiske Undersøgelser, har jeg anset det for rigtigst næsten helt at udskyde al Omtale af Søterrains Tilblivelsesmaade, indtil det Tidspunkt kom, da Terrains Glacialgeologi var udredet.

Det havde endvidere været ønskeligt, om der til Undersøgelsen var blevet knyttet bakteriologiske Studier af Søbundens Bakterier. Da de efter mit Skøn helst bør udføres med regelmæssige Mellemrum, mindst et Aar igennem, om Sommeren vistnok hver 14. Dag, var Arbejdet for stort til, at det kunde komme til Udførelse sammen med de øvrige Studier. En gennemført bakteriologisk Undersøgelse kræver vistnok hertil et Laboratorium beliggende ved Søbredden, og hvor Studier kan drives hele Aaret. Ogsaa fordi et saadant manglede, maatte Planen om denne Side af Sagen falde bort. Manglen paa bakteriologisk Assistance er imidlertid paa flere Steder af Arbejdet ret følelig. Dette gælder saavel Diskussionen om Brunjærnstensallejringerne Genese og forskellige Spørgsmaal vedrørende vore dybere Søbundsallejringer. Der gøres opmærksom paa, at her er et Felt, hvor det var heldigt, om yngre Kræfter med bakteriologisk Uddannelse vilde sætte Undersøgelser i Gang.

Naar Undersøgelsen nu i det store og hele maa siges at være gennemført, skyldes det først og fremmest den udmærkede Methode, som Hr. Oberst SAND udarbejdede til os, og for hvilken jeg paa Undersøgelsens Vegne bringer min hjerteligste Tak. Hvor fortræffelig Methoden var, kan bedst forstaaes deraf, at selv paa Furesø, hvor Baaden dog ofte kunde ligge flere Kilometer fra Guidernes Observationspladser, gik af de over 600 Lodskud ikke et eneste Lodskud, ikke en eneste Lokalitetsbestemmelse, tabt. Dernæst skyldes det den udmærkede Stab, der stod til Undersøgelsens Raadighed; den bedste Tak bør rettes til D'Herrer Guider MIKKELSEN, HOPPE og CHR. NIELSEN for det overordentlig samvittighedsfulde Arbejde, de har udført. Den, der ikke selv har prøvet Dage igennem, ofte i stegende Solhede, at følge en lille Baads Bevægelser, langt ude over en glitrende Søflade, hvor Refleksen fra Søen angriber Øjnene og fremkalder Konjunktivitis, vil næppe være i Stand til at vurdere det Arbejde, der maatte præsteres, for at Resultatet, at ikke et eneste af de talrige Signaler som Tegn til, at et Lodskud var taget, gik tabt.

Vi »Civilister« var ganske klare over, at det Arbejde, der her blev præsteret, vistnok kun kunde ydes af militært skolede Folk.

Naar Undersøgelsen endvidere kunde gennemføres i den relativt korte Tid, skyldes det endvidere, at den var begunstiget af godt Vejr. Under urolige Vindforhold kan en saadan Undersøgelse ikke gennemføres. Det, jeg mest havde frygtet af alt, at hele Arbejdsstyrken var indkaldt, og at Vejret havde hindret vort Arbejde, indtraf ikke. De gode Arbejdsdage blev gjort meget lange, og hele Opmaalingen blev tilendebragt nøjagtig i den planlagte Tid.

Ogsaa mine videnskabelige Medarbejdere bringer jeg min hjerteligste Tak; uden deres værdifulde Hjælp havde det aldrig været mig muligt at realisere det, der under hele Arbejdet har været min Grundtanke: at øge Værdien af den bathymetriske Undersøgelse ved at optage de Spørgsmaal til Behandling, der naturligt lod sig studere sammen med dem. En særlig Tak skyldes jeg Prof. AUG. KROGH, der efter min Anmodning har

gennemlæst et Par Afsnit. For forskellige Oplysninger er jeg ogsaa Prof. WARMING, Prof. JUNGENSEN, Direktør for den biologiske Station, Dr. C. G. JOH. PETERSEN, Prof. JOH. STEENSTRUP, Oberst M. J. SAND og Prof. BRINCKMANN Tak skyldig.

Forskellige Zoologer og Botanikere har bestemt eller verificeret vore Bestemmelser. (Prof. B. B. WOODWARD, British Museum, nogle Pisidier, Dr. ALM, Upsala, Ostracoderne, Dr. SIMON BENGTON, nogle Ephemeridelarver, Dr. SIG. THOR, Skien, og Mag. L. PEDERSEN Hydrachniderne, Prof. NORDSTEDT, Lund, visse Characeer og Apotheker JENSEN, Hvalso, visse Mosser. Dem alle bringer vi vor bedste Tak.

## KAPITEL I

### Stedbestemmelse af Lodskuddenes Beliggenhed

af

Oberst M. J. SAND,

Chef for Generalstabens topografiske Afdeling.

Ved Undersøgelsen af en Søes Dybdeforhold er det selvfølgelig af lige saa stor Vigtighed, at Beliggenheden af de enkelte Dybdemaalinger, Lodskud, bestemmes rigtig, som at selve Dybden maales med den ønskede Nøjagtighed; ganske særlig, hvor Søens Dybde har bratte Forandringer, bliver Stedbestemmelsens Nøjagtighed endog afgørende for det endelige Resultat.

Flere forskellige Metoder har været i Brug ved en saadan Stedbestemmelse. Paa en tilfrossen Sø kan benyttes en eller anden af de ved en Landopmaaling almindelige Fremgangsmaader; men da de her omhandlede Undersøgelser foretoges om Sommeren, var dette udelukket. En meget almindelig Fremgangsmaade er at lade den Baad, hvorfra Lodskuddene tages, saa nøje som muligt bevæge sig i rette, som oftest nogenlunde parallelle Linier, der i Forvejen maa være afstukne ved Mærker i Land. Baadens Plads i Linien bestemmes da f. Eks. ved at tælle Aareslagene, ved en Line, som man lader løbe ud under Farten, eller paa anden Maade. Ved denne Metode opnaas dog kun en ringere Nøjagtighed, og tilmed har den andre Ulemper. Den kræver en Del Forberedelse, meget afhænger af Medhjælpernes Paalidelighed og Sikkerhed, som vanskelig kan kontrolleres, og Lodskuddene kan ikke ret vel lægges frit, hvor de mest tiltrænges, men altid med en vis forud bestemt Regelmæssighed.

I nærværende Tilfælde var man saa heldig i Generalstabens Kort, hvorpaa Søernes Konturer er nøjagtig indlagte, at have et godt Grundlag, og ved Overenskomst med den topografiske Afdeling paatog denne sig hele Stedbestemmelsen af Lodskuddene. Dette skete ved Anvendelse af det almindelige Maalebord, idet Sigter fra to forskellige Stationer i Nærheden af Søbredden toges til Baaden, hver Gang en Dybdemaalning udførtes.

Kortene i Maalestokken 1 : 20000 forstørredes ad fotografisk Vej, for Furesøens Vedkommende til 1 : 10000 og for de øvrige mindre Søer til 1 : 5000, og denne Forstørrelse omfattede ikke alene selve Søgrænsen, men ogsaa et passende Bælte af det omgivende Land. Ved en særlig Rekognoscering udsøgte de gunstigste Steder i Nærheden af Søbredden for Opstilling af Maalebordet saaledes, at der ikke alene herfra havde fri Udsigt over en passende Del af Søen og til andre Punkter i Land, hvorefter Maalebordet kunde orienteres, men at ogsaa disse Steder, Stationerne, med fuldkommen Sik-

kerhed kunde bestemmes paa Kortet. Yderligere undersøgtes, hvilke Partier af Søen der skulde optages fra Stationerne to og to for at faa de bedste Skæringer til Lodskuddene, og i dette Øjemed konstrueredes de Begrænsningslinier, indenfor hvilke Skæringerne var mellem  $60^\circ$  og  $120^\circ$ .

Da det gjaldt om at bestemme Punkter paa Søen, som kun var synlige, medens Baaden laa stille og foretog Lodningen, maatte der anvendes to Observatorer i Land. Dette Arbejde udførtes af to af Generalstabens rutinerede Guider. Med det omtalte forstørrede og præparerede Kort udsendt paa Maalebordet tog hver af dem Opstilling i sin Station og Maalebordet orienteredes saaledes, at Linierne paa Kortet blev nøjagtig parallelle med de tilsvarende i Terrænet. Naar saa Baaden i Søen laa stille og foretog Dybdemaaling, sigtedes der til den samtidig fra begge Stationer, og Retningen afsattes ved et Punkt paa Maalebordet, hvilket Punkt i Forbindelse med Stationspunktet bestemte Linien. Naar alle Lodskud, som skulde indlægges fra de to Stationer, var foretagne, flyttede den ene Observator — eventuelt begge — til en ny Station.

Da det drejede sig om et stort Antal Punkter, var det nødvendigt for at arbejde sikkert og undgaa Fejltagelse at træffe bestemte Aftaler. Alle Lodskud gaves fortløbende Numre for samme Sø, hvilke Numre straks tilføjedes saavel i Fortegnelsen over Dybderne som ved de paagældende Mærker paa Maalebordet. For yderligere Sikkerheds Skyld gaves fra Baaden og fra begge Stationer et bestemt Tegn, hvergang et Punkt med Numer endende paa Nul var indlagt. Saasnart man paa en Station var klar til Indskæring, rejstes et Flag, som atter nedtoges, naar Operationen var færdig; men Indskæring maatte kun finde Sted, naar der tillige paa Baaden rejstes et Flag, som holdtes oppe, saalænge man laa stille og loddede, eller indtil Flagene paa begge Stationer var nedtagne. Paa denne Maade gik Arbejdet fuldkommen sikkert.

Paa hvert Maalebord blev saaledes kun Retningerne fra én Station bestemt. Efter Dagens Arbejde i Marken tog derfor hver Observator en Kalke af Mærkerne paa sit Maalebord og leverede den til den anden, hvorefter de begge kunde afsætte Lodskuddene og derved fik en meget effektiv Kontrol paa Indkonstruktionens Rigtighed.

Den Nøjagtighed, som opnaas ved den her beskrevne Fremgangsmaade, beror næsten udelukkende paa den Maalestok, hvori der arbejdes, idet Punkterne paa Kortet praktisk talt kan siges at komme til at ligge helt rigtig. Her forudsættes naturligvis, at alle Operationer udføres med fornøden Omhu, at Stationerne er rigtig indlagte, og at der kun anvendes tilstrækkelig gode Skæringer.

Metoden har yderligere den Fordel, at man paa Baaden kan have Hovedopmærksomheden henvendt paa selve Dybdemaalningen og foretage denne, hvorsomhelst det maatte synes ønskeligt, uden at være bunden til den Regelmæssighed, som flere andre Metoder nødvendig kræver.

Indskæringen fra Land tager meget ringe Tid, saa at det er let at følge Dybdemaalningen, selv om denne gaar nok saa hurtig. Særlig fordelagtig vil derfor denne Bestemelsesmaade være, hvor der paa mindre dybt Vand skal tages en større Mængde Lodskud.

# KAPITEL II

## Bemærkninger til de bathymetriske Kort

af

C. WESENBERG-LUND.

### De enkelte Søer.

#### Bastrup Sø.

Kort I A.

Mollegaens Kildesø har sit Aflob i Søens østlige Hjørne. Den er kun 33.8 ha stor, lang og smal, H. o. H. 29 m. Dybdeforholdene er især karakteriserede ved, at 4 m Kurven



Fig. 2. Bastrup Sø med sit brede *Phragmites*-Bælte.  
(Fot. B. P.).

næsten overalt løber ganske tæt inde ved Kysten; kun ved Søens Ender, navnlig i den østlige, viger den betydelig ud fra den. Langs Søens lange Sider følger endog 5 m Kurven ganske nær, og da Søen, bortset fra et enkelt skarpt

begrænset Parti, hvor Dybden er 7½ m, i Almindelighed ikke iøvrigt har Dybder paa

over ca. 6 m, er Søbunden over sin største Udstrækning en ganske jævn Slette, der er begrænset af stejle Skraaninger. Det er disse, der bevirker, at Vegetationsbælterne i Søen er saa meget svagt udviklede (Fig. 2—3 a, b).

N Ruin S

Fig. 3 a. Tværsnit af Bastrup Sø<sup>1)</sup>.

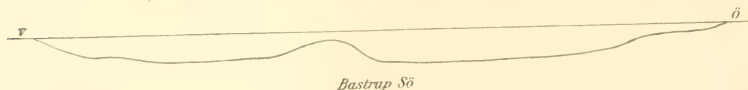


Fig. 3 b. Længdesnit.

<sup>1)</sup> Profilerne er tegnede af Cand. BOYE PETERSEN.



**Farum Sø.**

Kort II A.

Størrelse 121 ha, H. o. H. 20 m. Farum Sø modtager Tilløbet i den vestlige Ende; Afløbet findes i den østlige. Søen indeholder 2 Øer, af hvilke den ene, Claus Nars Holm, er vel kendt; den anden, den vestligste, er meget lille og nu omtrent landfast med Sydkysten. De bathymetriske Forhold er ret mærkelige (Fig. 4).

Medens 12 m

Kurven nemlig følger Kysten ganske nøje langs store Dele af Nordkysten og ikke heller ligger ret langt fra Land i Søens østlige Del, ligger

allerede 2 Meter Kurven langs den sydlige Del meget langt fra Land. Dybdeforholdene paa Nord- og Sydkysten er altsaa meget forskellige. Paa Nordkysten er Kysten meget stejle, paa Sydkysten er Kysten overordentlig flad.

Følger man paa Kortet den sydlige Kystlinie til det Sted, hvor den begynder at danne den store nu af *Phragmites* opfyldte Bugt, ser man <sup>1</sup>/<sub>2</sub> at 3 Meter Kurven forlader



Fig. 4. Snit gennem Farum Sø.



Fig. 5. Farum Sø med Klaus Nars Holm. (Fot. W-L.).

Kysten og bøjer op om den ovenfor omtalte Klaus Nars Holm. Kortet viser endvidere, at 3—10 Meter Kurverne ligger ganske tæt op til hverandre, bøjer Nord om Holmen og mødes her med 11—13 Meter Kurverne.

Dette vil med andre Ord sige, at der paa langs gennem Søen, fra Søens vestlige Del og forbi Klaus Nars Holm, gaar en Skraaning, der deler Søen i en nordre dybere

Del og en sydligere meget lavere. Den nordre Del indbefatter to dybere Partier, et vestligt paa 12—13 m og et østligt dybere, der noget nord for Klaus Nars Holm indeholder Søens Maximaldybde 16 m.

Man faar det Indtryk af disse ejendommelige Dybdeforhold, at Søen oprindelig har været betydelig mindre og smallere i gamle Dage, idet den paa den Tid har været begrænset af den sydlige 4 Meter Kurve; hele det store, lavvandede, sydlige Parti er fremkaldt ved en senere Oversvømmelse, som paa et vist Tidspunkt har været større end nu.

Et nærmere Studium af Kortet vil endvidere vise, at der spredt over Søbunden ligger adskillige dybere Smaapartier og Smaabanker. Meget forviklede er Kurvernes Forløb særlig i Søens vestlige Ende. Uden iøvrigt at gaa nærmere ind paa Kurvernes Forløb her skal der kun gøres opmærksom paa den ejendommelige, langstrakte Banke med kun 2 m Vand, der strækker sig tværs over Søen og ligesom er ved at afsnøre en Del af Søen fra det øvrige.

### Furesø.

Kort III, IV A.

er 935.8 ha stor, H. o. H. 19 m.

Mølleaaen løber ind i Søens nordvestlige Hjørne og forlader den i det sydøstlige.

Søen frembyder i mange Henseender meget ejendommelige, bathymetriske Forhold.

Paa sin østlige Side har den to Bugter, den større Storekalven og den meget mindre Lillekalven, der tilsammen afgrænser Halvøen Næset.

Der er ingen Tvivl om, at Søen en Gang, syd for Luknam, har skaaret sig ind lige til den lille Sø, Vejlesø ved Holte Station. Selve den fremspringende Halvø Luknam var endnu for ikke 100 Aar siden en Ø, hvorpaa der holdtes Kaniner; deraf ogsaa Betegnelsen Kaningaarden for Hovedgaarden Aagesholm. Det er ligeledes sikkert, at Søen i tidligere Tid i de saakaldte Brodenge i Storekalvens inderste Del har gaaet helt op til Jærnbanelinien, at Forbindelsen med Farumsø har været bredere, og at Søen ved Frederiksdal er naaet helt op til Landevejen og den nuværende Krohave. Det gamle Slot Hjortholm har oprindelig været omflydt af Vand. Søen er nu omgivet af ret stejle Skrænter, der hæver sig indtil 20 m over Vandspejlet. I tidligere Tid, da Søen stod højere, har den eroderet Kysterne stærkt; det brede Stenbælte, der ofte er ca. 10—15 m bredt, findes næsten overalt langs Kysten. Det er dannet ved, at Bølgerne under Erosionen har vasket Stenene ud (Fig. 6). Det er dette Bælte, der vistnok for en væsentlig Del er Skyld i de smalle, svagt udviklede Vegetationsbælter. Erosionen er nu overalt ophørt, Skrænterne er bevoksede med Græs og Skov. Mellem Skrænterne og Søen findes den hyppig stendækte Strandbred, hvis Brede selvfølgelig veksler med Søens ret skiftende Vandstand. End ikke under en af de stærke Storme, vi i Mands Minde har haft, Julestormen 1900, var Søen mere i Stand til at øve eroderende Indflydelse paa Skrænterne. Paa sine Steder findes betydelige Sandmasser; dette er særlig Tilfældet i Søens sydøstlige Hjørne, i Bugten ud for Frederiksdal og Virum, samt i Storekalvens inderste Del. Navnlig paa førstnævnte Sted findes en bred Sandflade, der gaar ud over 4 Meter Kurven. Iøvrigt hviler Stenbræmmen langs Kysten næsten overalt i Sand, men disse Sandmasser flyttes af Bølgerne og aflejres i Overensstemmelse med Vindret-

ning og Vindstyrke. De kan ofte dække Stenbræmmen, saa at det ser ud, som om der pludselig er opstaaet Sandflader, hvor der før har været Sten. En Storm fra modsat Side kan da i Løbet af faa Timer feje Stenene rene igen.

Under Stormene opstaar ofte fra fremspringende Pynter Sandrevler, der lukker for bagved liggende Bugter. I visse Somre kan Storme, der kommer fra andre Retninger, atter feje disse Revler bort. I andre derimod, særlig i saadanne, hvor der ikke har været meget Vind, kan disse Revler blive liggende, Vegetationen kan binde Sandet, og der opstaar da bag dem stille Rum, hvori Søens Detritus havner; denne dækkes af Vegetationen. Paa den Maade lukkes Bugten, og Søen retter sin Kystlinie ud. Naar Bugten er torlagt, bliver Revlerne liggende som smaa ophøjede Linier inde paa det tørre Land.



Fig. 6. Furesøens stenede Bred med Kalkbelægninger. (Fot. W.-L.).

Paa forskellige Dele af Kysten kunde man for nogle Aar siden tydelig i Bugten ud for Frederiksdal paavise et helt System af saadanne parallelle Linier, der indadtil var dækket af Græs, udadtil var vegetationsløse Sandrevler. Den stigende Trafik langs Søens Bredder har nu vistnok overalt udvisket disse Forhold.

Til visse Tider, særlig i Vinterhalvaaret, dækkes Bredderne, især Sandfladerne, af store Mængder Detritus; navnlig i det sene Efteraar bestaar dette af Materiale fra de omliggende Skove; det kan aflejres i  $\frac{3}{4}$  m høje Volde, som Vind, men navnlig den brydende Is kan give stejle Flader ud imod Søen: den skruende Is kan i disse sammenfrosne Volde børe Huller og give dem et yderst uregelmæssigt Udseende. Under Forårsstormene underkastes de Pulverisationens Lov og føres som findelt organisk Materiale til Sos igen. Isens Indflydelse paa Kystliniens Forløb, paa Vegetationsbæltets Bredde og Beskaffenhed, paa Detritusmassernes Aflejningslokaliteter og Sammensætning er langt

større end man i Almindelighed tror. Det var min Mening, naar dette Arbejde udkom, gennem Iagttagelser og Illustrationer nærmere at faa dette dokumenteret. De overmaade milde Vintre i de sidste 5 Aar, i hvilke Furesø kun har været islagt en ganske kort Tid, og hvor den opbrydende Is kun har haft ringe Magt, har hindret mig heri. Her indsættes kun et Billede, der tydelig viser, hvorledes Isen paa Lillekalvens nordlige Bred i Slutningen af forrige Aarhundrede har raseret en Række Elletræer, delvis rykket dem op, delvis knækket dem. En stor Del Træer langs Furesøens sydvestlige



Fig. 7. Furesø. Iserosion paa Spidsen af en af Halvøerne. (Fot. W-L.).

Kyst bærer stadig ved Roden dybe Mærker af og Ar efter Iserosionen i Foraarsmaanederne for ca. 20 Aar siden.

For dem, der interesserer sig for disse Fænomener, henvises til et Arbejde af TEILING (1916), hvori Litteratur fra vore Nabolande og fra Nordamerika, hvor disse Spørgsmaal er begyndt at blive gjort til Genstand for Undersøgelse, er samlet.

Navnlig i tidligt Foraar dækkes Sandet af et ejendommeligt grønligt, slimet Lag, hvis Hovedbestanddel er de talrige Rivulariacékugler, som dækker Stenene, og som Isen skurer af i Foraarstiden. Kuglerne falder hen, og Smaapartiklerne sammenbindes ved Slim fra Infusionsdyret *Ophrydium versatile*, hvis valnødstore Kugler i Vinterens Løb har løsnet sig, er blevet destruerede og nu flyder hen som Gelé. Rivulariacékuglerne indeholder en ikke ringe Mængde Kalk, der oftest iblandes Diatoméer, som navnlig i

Vinterhalvaaret som et Overtræk beklæder Stenene, de paa dem voksende Alger samt Resterne af *Phragmites* og *Scirpus*, der staar under Vandet. Den allerstørste Del af hele dette Materiale raadner bort inde ved Bredden, skylles for en Tid op i Dynger, men føres atter ud og forsvinder. Tilbage bliver kun Kalkpartiklerne, iblandet Diatomé-skallerne. De ligger som et overordentligt tyndt, fint Lag over Sandfladerne; det er dette Lag, der i Stormvejr hæves af Bølgerne og farver Vandet i Litoralregionen hvidgraa. Naar en Storm rejser sig, angiver den Linie, der skiller Litoralregionens hvidgraa Vand fra den pelagiske Regions, den Dybde, hvortil Bølgerne gaar ned. Ved Julestormen 1900, da Vindstyrken var 33 m i Sek., fulgte denne Linie ud for Frederiksdalkysten (iagttaget fra et Punkt paa Sydkysten) paa det nærmeste 6 Meter Kurven. Naar Stormen vedbliver, føres lidt efter lidt Slammet ud over hele Søen, hvis samlede Vandmasser da antager en hvidgraa Farve.

Med Hensyn til Vandets Kalkholdighed, Mængden af Kalk i Søbunden, Kalkens Oprindelse o. s. v. henvises til ældre Arbejder (W-L. 1900, BRØNSTED og W-L. 1912).

Det er en ret vanskelig Sag at give en blot nogenlunde korrekt Fremstilling af Furesøens bathymetriske Forhold. Bunden frembyder betydelige Ujævnheder; et nøje Studium af Kortet vil hjælpe mere end en hvilken som helst Beskrivelse.

Kortet viser først og fremmest, at den store Bugt, Storekalven, der paa det nærmeste udgør  $\frac{1}{5}$  af hele Søen, er overordentlig lav, højest kun ca. 4 m; den mindre Bugt, Lillekalven, har omtrent samme Dybde.

Søen er dernæst karakteriseret ved, at der næsten i dens Midte findes to Banker, der fra en Dybde af ca. 25 m hæver sig op til ca. 4 m under Vandspejlet. Sænkedes Søens Vandspejl kun lidt over 4 m, vilde man midt i Søen altsaa have to Smaaøer. Som Kortet viser, er disse Bankers Sider overmaade stejle; de er ikke, som man kunde tro, Dele af en Højderyg, men ligger ganske isolerede lidt syd for Søens dybeste Parti.

Syd og sydøst for disse Banker frembyder Søbunden i det store og hele kun Billedet af en jævnt skraanende Slette. Kurverne løber ikke ind i hinanden, men gaar over store Strækninger næsten parallelle. Slettens sydlige og østnordøstlige Sider har hist og her ret stejle Sider, men ned mod Søens sydøstlige Hjørne ud for Virum og Frederiksdal er Vandet overmaade grundt. 6 Meter Kurven ligger her ca. 600 m fra Land, en ejendommelig Modsætning til Søens nordlige Del, hvor 32 Meter Kurven kun ligger ca. 300 m fra Land.

Forholdene er i den nordlige Del i det hele langt mere forviklede. Kysternes Fald ned imod Dybet er overalt langt mere stejl. Paa sine Steder gaar 24 Meter Kurven kun i en Afstand af ca. 200 m fra Kysten. Af Kortet ses, at Kurverne særlig langs Nord-siden er slynget ind mellem hverandre. Nogle Steder skyder Kysten Landtanger ud, paa andre gaar Dybder paa 20 m ind til kun 100 m fra Land. Mellem Bankerne og Stavns-holt ligger Søens dybeste Parti, en langstrakt, rendeformet Fordybning, bredest over mod Næsseslottet og smalles over mod Nørreskov.

Rundt om Bankerne gaar paa den vestlige Side en Del af Dybet syd om Bankerne, og her findes et af Søens dybeste Punkter 32 m. Søens største Dyb 36 m ligger omtrent



midt i Søen, noget Nord for Bankerne og paa Højde med Luknam. I Sammenligning med saa mange andre Søer er Dybet jo meget ringe. Det er dog vistnok Landets dybeste Punkt. Naar man betænker, at alle tilgrænsende Have, Bælthavet med Øresund og Østersøen til Falsterbo-Darsserort, bortset fra enkelte smalle Render er lavere, ja endog som Regel betydelig lavere, maa man egentlig snarere undres over, at en af vore Søer kan opvise saa stort et Dyb.

At gaa nærmere ind paa de enkelte Kurvers Forløb anser jeg ikke for formaals-tjenligt. Paa Søbunden optræder kun tre Fænomener, som fortjener lidt nærmere Om-tale; det ene er Skalbæltet og Skalbankerne, der findes langs Kysten, det andet er Søens Stenaflejringer, det tredje Brunjærnstensaflejringerne. Hertil bør knytte sig nogle Be-mærkninger om Bundens Beskaffenhed udenfor ca. 20 Meter Kurven.

Skalbæltet og Skalbankerne. Om disse Dannelser, der paavistes i Furesø 1900—1901, er der i Tidens Løb fremsat forskellige Anskuelser. Det godtgjordes 1901, at Furesøens Molluskskaller ganske overvejende opsamledes i et Bælte paa 8—11 m Vand. Udenfor dette Bælte, særlig udenfor 15 m, var Antallet af Skaller meget ringe; paa 20—30 m bragte Skraben kun enkelte Eksemplarer op (W-L. 1901 p. 66). Indad mod Land var Forholdet til forskellige Tider af Aaret paa forskellige Lokalteter i høj Grad vekslende. Til Forstaaelsen af Skalbæltets Genese gaves følgende Forklaring. Ud-adtil opstaar Grænsen ganske naturlig derved, at Bæltet, bortset fra Pisidierne, danner Ydergrænsen for alt Molluskliv i Søerne. Indadtil opstaar Grænsen, fordi Skallerne indenfor ca. 7 m angribes mekanisk af Bølgeslaget og kemisk af Planterne. De pulveri-seres og korroderes; Forholdene er her inde altfor urolige, til at der kan finde større Skalflejringer Sted.

Ud fra den Kendsgerning, at man i Skalbæltet aldeles overvejende kun finder Skaller af de Mollusker, der enten lever i det eller ved Bæltets Grænser (*Unio*, *Anodonta*, *Valvata piscinalis antiqua* og *Bithynia*, men kun i meget ringere Grad af Lungesnegle), slut-tede jeg mig til, at Bæltet ganske overvejende opbygges af de Mollusker, der lever ude i det. Det store Misforhold, der fandtes mellem de uhyre Masser af Skaller og de meget faa, levende Dyr lod sig naturlig forklare saaledes, at Skallerne i Tidens Løb aflejredes i det bløde, konserverende Dynd. Der henvistes til, at Skallerne øjensynlig var meget gamle, ofte kridtagtige, bløde. Man havde i Skalbæltet med Aflejringer at gøre, hvis Vækst langsomt var blevet øget over meget lange Tidsrum. Da det nu viste sig, at der i Søbunden, netop hvor Skalbæltet laa, ofte fandtes Banker, tilskreves disse Molluskernes opbyggende Virksomhed; de blev i saa Henseende for Ferskvandets Vedkommende sam-menlignet med Koraldyrenes i Havet. At Skalbæltet i det store og hele skulde være opstaaet ved Transport af Materiale indefra udefter, ansaa jeg for usandsynligt, særlig fordi vi formentlig ikke kender til Faktorer, der paa den ene Side skulde være i Stand til at aflejre Materialet saa langt ud og paa den anden Side heller ikke længere : ikke ud over ca. 11 m. Da jeg senere fandt Skalbæltet og Skalbanker i andre danske Søer, sluttede jeg, at vi her havde at gøre med Fænomener, der hos os ganske nød-vendig maatte dannes i Søer af Middeldyb, hvis Kyster ikke skraaner for stærkt, og som har stærkt kalkholdigt Vand.

Samtidig og senere har andre beskæftiget sig med disse Dannelser (A. C. JOHANSEN,



PASSARGE, STEUSLOFF). Der synes nu ikke at være Tvivl om, at Skalbæltet er et alm. forekommende Fænomen i de baltiske Søer. Af PASSARGE er det betegnet som »Muschelbreccien«. Med Hensyn til Maaden, hvorpaa det dannes, har der derimod været meget dette Meninger; min Fortolkning har man ikke kunnet akceptere.

I sin Tid, da jeg paabegyndte Studiet af Furesøens Bundaflejringer, og jeg ønskede en nærmere Angivelse af, til hvilke Dybder de enkelte Molluskarer gik ud i Furesø, bad jeg Dr. A. C. JOHANSEN, om han som Malakolog vilde deltage i den Undersøgelse af Furesø, som altsaa for en væsentlig Del kom til at ligge til Grund for Arbejdet: »Studier over Søkalk, Bonnemalm og Søgytje« (1901). Dr. A. C. JOHANSEN, der ikke ønskede at afvente mit Arbejdes Fremkomst, publicerede, uden at jeg havde Kendskab dertil, sine Resultater og Anskuelser, der var forblevet mig ganske ukendte, i Vidensk. Medd. Nat. Foren. 1901. Umiddelbart efter udkom mit Arbejde. Da det desværre omtrent var færdig trykt, da Dr. JOHANSEN's blev publiceret, kunde der ikke tages Hensyn til dette. Deraf kommer det, at Resultaterne af disse to Arbejder, skønt de, hvad Furesøens Molluskaflejringer angik, udfortes samtidig og i samme Baad, kom til at frembyde en hel Del unødvendige mindre Afgivelser, idet al Konference manglede. Mere beklageligt var det, at JOHANSEN gav en ganske anden Fremstilling af Skalbæltets Genese end jeg. JOHANSEN lægger langt større Vægt paa Antallet af de Skaller, der findes uden for Skalbæltet, end jeg har gjort; endvidere viser han, at Skaller som Regel findes langt ud over den Dybde, hvortil vedkommende Molluskart lever og fremhæver navnlig, at *Valvata piscinalis antiqua*, *Anodonta* og *Unio* som Skaller er opsamlet i Skalbæltet betydelig længere ude, end hvor de lever. Det sidste har jeg ikke været blind for (1901 p. 68). Ud fra disse lagtagelser slutter JOHANSEN, at der foregaar en betydelig Transport af Skaller udefter, at Skalbæltet kun i sin inderste Del er opbygget af Dyr, der har levet der, men at det i sin yderste Del er dannet af udført, fra Litoralzonen transporteret Materiale. De transporterende Faktorer er JOHANSEN øjensynlig i Bekneb med at faa tilvejebragt; han angiver efter KEW en lang Liste paa saadanne — end ikke Skypumper mangler — og føjer til Listen ogsaa det i og for sig ganske rigtige, bl. a. ogsaa af mig omtalte Fænomen, at luftfyldte Skaller, særlig Pulmonaters, kan gribes af Bølgerne og føres langt til Søs. Endvidere sætter han sin Lid til Bundstrømme, men fører ikke Spor af Bevis for deres Tilstedeværelse.

PASSARGE, der ligesom jeg synes at anse Transport for udelukket, mener at hans »Muschelbreccien« er opstaaet ved, at Muslingerne særlig har samlet sig om Kilderne, som han formoder fortrinsvis findes, hvor disse Muslingophobninger (hos ham væsentlig *Dreissensia*) opstaaer, idet han tror, at bevæget Vand er fordelagtigere for Muslingerne end stillestaende. »In bewegten Wasser muss die Zufuhr neuer Nahrung und damit der Ersatz für die verbrauchte Nahrung schneller erfolgen« (p. 124). Forklaringen er for de danske Søer absolut ikke fyldestgørende; indtil 1912 fandtes *Dreissensia* ikke i en eneste større dansk Sø; der er endvidere intet, der berettiger os til at antage, at vore Søers *Anodonta*- og *Unio*-Arter, som i tallose Individer i disse gaar ud til et Bælte af ca. 10—11 m, skulde foretrække strømmende Kildevand fremfor de Forhold, vore større Søers skraanende Kyster i al Almindelighed frembyder. Endvidere er vi ganske ude af Stand til at føre Skygge af Bevis for den i og for sig ganske unaturlige Antagelse, at

Kilderne særlig skulde optræde i Skalbæltet, noget man næsten er tvunget til, hvis man ud fra dem skal søge at forklare dets Genese.

Idet jeg med Hensyn til den fornyede Undersøgelse henviser til STEENBERG's Af-snit, skal jeg her kun fremhæve Hovedresultaterne og til min gamle Opfattelse af Skalbæltets Oprindelse yderligere tilføje følgende.

Undersøgelserne 1911—1916 godtgjorde med al ønskelig Tydelighed, at der udenfor Vegetationszonen i et Bælte hele Søen rundt findes uhyre Aflejringer af Molluskskaller. Bæltet gaar noget dybere ud, end det tidligere er angivet, helt ud til c. 15 m.

Maaske har jeg noget undervurderet Antallet af Skaller udenfor Bæltet, men Hovedresultatet, at der i Sammenligning med de Tusinder og atter Tusinder af Skaller, der aflejres i Skalbæltet, kun aflejres forsvindende faa udenfor dette, staar vistnok stadig ved Magt.

Det opbygges navnlig i sin yderste Del som tidligere angivet af de Mollusker, der lever i Bæltet eller dette nærmest; Pulmonaternes Skaller er i forsvindende Mindretal.

Maaske har jeg i min Tekst (1901 p. 68) lidt for lidt fremhævet, at *Unio*- og *Anodonta*-Skallerne ligger aflejede ude paa større Dybder, end hvor Dyrene lever.

Nu saa lidt som før er der paavist nogensomhelst Faktor, der kan tænkes at øve en saadan ordnende Indflydelse paa de paa Søbunden aflejede Molluskskaller, at de i Tidens Løb paa den ene Side føres udad paa indtil 15 m og paa den anden Side, naar man ser bort fra Undtagelserne, netop hertil, men heller ikke længere.

Alle de dels af KEW, dels af JOHANSEN fremhævede Transportmidler (flydende Plantedele, Vaarfluelarver, andre Insektlarver, Fugle, Floder, Skypumper, Luftfyldning af tørre Skaller) er netop dem, der ypperlig egner sig til at give os Forklaringen paa alle Uregelmæssighederne, alle Undtagelserne fra Hovedreglen, men ikke en eneste af dem kan, fordi de alle virker som Tilfældigheder, forklare os det, der netop er det karakteristiske ved Skalfordelingen: den store Regelmæssighed, det at disse uhyre Skalmasser ophobes i et bestemt Bælte paa 8—15 m.

Diskutable som Transportmidler er formentlig kun 3 Faktorer, Bundstrømme, Bølger og Is.

Bundstrømme er hidtil med Sikkerhed kun kendt fra faa, som Regel store, stærkt langstrakte og dybe Søer. Selv har jeg set dem ud for Havnen ved Morges i Genfersøen; her vendte de de submerse Vandplanter under fuldkommen rolig Sø. EKMAN (1915 p. 196) nævner dem fra Vättern. Det omtales, hvorledes de her vender Fiskernes Garn og fylder dem med Planter. Ogsaa paa anden Vis dokumenterer de deres Nærværelse. Det er formentlig dem, der er Skyld i, at Sand selv paa de dybeste Partier af Vättern findes aflejret oven paa blød Søbund, et Fænomen, hvortil vi absolut intet Sidestykke har i Furesø. Skønt jeg ofte under mine talrige Ekskursioner paa Furesø har haft min Opmærksomhed rettet paa dette Punkt, har jeg aldrig set det ringeste, der kunde opfattes som Bundstrømme. Ikke heller tror jeg, at de i vore smaa Søer har nævneværdig Kraft; at de endvidere nogetsteds skulde være i Stand til at frembringe den zonare Fordeling, som netop udmærker disse Skalflejringer i alle undersøgte Søer, er mig fremdeles ganske gaadefuldt.

At Bølgeslaget, der i Furesø ikke afsætter sine Bølgeslagslinier udover ca. 2 m ude paa 8—15 m Vand skulde kunne flytte de delvis i Sandet stikkende Skaller af Mus-

linger, hvortil Hovedmassen af Skalbæltets Skaller i den yderste Zone hører, anser jeg for ganske usandsynligt.

Den eneste Faktor, der i vore Søer virkelig er i Stand til at bidrage til Transport af Skaller udefter, er Isen. Naar den i det tidlige Foraar skrues op paa Vindkysten og i meterhøje Masser tager Bund ude paa over 1 m Vand, oproder den Bunden, skraber Muslingerne ud af denne, transporterer en Del af Materialet ind paa Kysten, hvor Dyrene opkastes, men klemmer en anden Del fast paa sin Underside. Ligger Isen længe nok, dør Muslingerne, Skallerne klapper sig op, og naar Isen gaar bort, ligger Bredden til ud paa 1 m Vand dækket af Tusinder af fladt udbredte Muslingskaller. Største Parten af disse Skaller naar sikkert Land og aflejres ved Foden af *Phragmites*-Strandvoldene, hvor de pulveriseres. Regelmæssige lagttagelser ved Esromsøens Kyst har belært mig om, at en Del, men langt den mindste Del, af dette lette Materiale senere hen af drivende, vuggende Is virkelig føres udad, men den aldeles overvejende Del af Skaller havner paa Land, hvor de hele Sommeren igennem blegede af Solen ligger i Strandvoldene.

Som Resultat af alt, hvad vi i Øjeblikket med nogenlunde Sandsynlighed kan sige om Transport af Skaller i vore Indsøer, kommer vi til følgende. Der finder vel en betydelig regelmæssig Transport af Skaller Sted, ofte langt ud over det Sted, hvor Dyrene lever, men denne Transport foregaar som alt angivet (1901 p. 70) udefra indefter. De transporterende Midler er Bølger og Is.

Transporten indfra udefter er af langt mindre Betydning, den har altid Tilfældighedernes Præg. Den eneste Faktor, der i vore Søer kan faa nogen Betydning, er Isen. Transporten udefter er ganske ude af Stand til at forklare Skalbæltets Oprindelse, dels at det stopper ved ca. 15 m, dels at det sammensættes af de Skaller af Mollusker, der lever i det og nærmere ved det.

Ud fra sine lagttagelser vedrørende Skalflejringerne i Havet, for hvilke Aflejringer jeg meget snarere kan tænke mig, at JOHANSEN's Anskuelse har Gyldighed, har han ogsaa søgt at hævde, at de endvidere skulde kunne gælde for Ferskvandets Vedkommende. Idet jeg bestrider den Opfattelse, at Naturen i Øjeblikket i vore Søer raader over Kræfter, der kan føre Skallerne fra Litoralzonens inderste Del udefter og aldeles overvejende aflejre dem indenfor 15 m, maa der søges andre Forklaringer for at forstaa det af JOHANSEN nærmere fremdragne Fænomen, at *Unio*- og *Anodonta*-Skallerne opbygger Skalbæltet betydelig udenfor den Zone, hvori Dyrene lever.

Allerede i 1901 blev der gjort opmærksom paa, at Skallerne som ovenfor nævnt i Skalbæltet ofte var af en ejendommelig blød, kridtagtig Beskaffenhed og øjensynlig meget gamle. Senere hen har jeg bl. a. i Hedehusenes Teglværksgrave haft Lejlighed til at se Anodonerne, saaledes som de sidder der i de Lerlag, der dannede sig samtidig med, at *Salix polaris* og *Betula nana* bundfældede deres Blade i Indsøleret. Mere henhældende er de ganske vist, men man kan ogsaa i Skalbæltet faa Skaller op, der ikke i Blodhed giver disse gamle Skaller særdeles meget efter. Der kan i denne Sammenhæng gøres opmærksom paa, at EKMÄN i Vättern (1915 p. 199) i en Dybde af kun ca. 75 m, altsaa ikke mere end dobbelt saa dybt som Furesøens Maksimaldybde, mener med Skraben at have optaget selve Glacialerets Overflade. Vi kender intet til Tykkelsen af de Lag, der aarlig bundfælder sig i Furesø, ikke heller kender vi noget til de Faktorer, der i vore Dage skulde virke i synderlig højere Grad destruerende end i hine svundne. Selvfølgelig

mener jeg ikke, at de med Skraben paa 15 m optagne Muslingskaller skulde hidrøre fra Istiden, men de kan efter mit Skøn godt være adskillige Aarhundreder gamle. Og det er formentlig alt, hvad vi behøver for at forstaa Skalflejringernes Tilstedeværelse udenfor de levende Molluskers Bælte.

Man maa nemlig erindre, at Mollusklivet, hvis Vandstanden i tidligere Tid har været lavere, rimeligvis er gaaet længere ud end nu. Nu er det en Kendsgerning, at Søernes Vandstand paa Grund af Menneskets Indgriben holdes over det normale Niveau, et Forhold, som er Historikerne velkendt.

Naar de første Sluser anlagdes i Mølleaaen, og Furesøens Vand derved opstemmedes, vides ikke, men det drejer sig sikkert om Aarhundreder. Der er ikke noget usandsynligt i at antage, at Sluserne gaar tilbage i hvert Fald til Valdemarernes Tid. Der er al Sandsynlighed for, at i hine Tider, der gik forud for Opdæmningen, er Mollusklivet gaaet længere ud i Søen. Endvidere gøres der opmærksom paa, at nutildags er Vandets Gennemsgitighed ganske utvivlsomt ringere end da. Den stadig tiltagende Bebyggelse, de tallose smaa Kloaktilløb, den rigere Tilførsel af organisk Materiale danner tilsammen en Faktor, som hine fjerne Tider ikke kendte til, men som nu er tilstede og gennem Forurening af Vandet sætter Gennemsgitigheden ned. Dermed er da ogsaa givet, at det Dyb, hvortil Vegetationen i svunden Tid gik ned, har været større end nu, og som Følge deraf har ogsaa Mollusklivet, der dog er afhængig af Vegetationen, i tidligere Tid kunnet gaa dybere ned.

Den yderste Del af Skalbæltene, der væsentlig opbygges af *Valvata*-, *Unio*- og *Anodonta*-Skaller, er for mig Minder om hine gamle Tider, der ligger adskillige Aarhundreder tilbage. Skallernes bløde, kridtagtige Beskaffenhed beviser deres store Ælde. Ingen Faktorer flytter dem herud; hverken kemiske eller mekaniske Forhold kan gøre deres Indflydelse gældende. Kan Skallerne i næsten uskadt Stand graves ud af de Lerlag, der dannede sig i Isens Afsmeltningsperiode, hvorfor skulde de da ikke i Aarhundreder kunne bevares paa den 15 m dybe Søbund ude i Furesøen?

Er denne min Anskuelse om Skallernes høje Alder rigtig, da følger det ogsaa af sig selv, at Skalflejringerne gennem Aarhundrederne i dette Bælte maa virke som en bundhøjnende Faktor.

Allerede i 1900, da jeg foretog mine Bundundersøgelser, var det mig paafaldende, at der langs hele Furesøens Kyst laa en Række Banker, som oftest beklædt med *Polydora lucens* og *P. perforatus*. Det var dem, der gerne betegnedes som Fiskebankerne; Fiskerne fortalte mig, at man med Bundflod ofte fik Muslingskaller op. Et nærmere Studium af disse Banker viste, at de, saa vidt jeg den Gang kunde se, laa paa 8—12 m. Da de ligger i Skalbæltet, og da den aldeles overvejende Del af alle Molluskskaller aflejres i Bæltet, gik jeg som ovenfor nævnt ud fra, at Bankerne var opstaaede ved Molluskernes Virksomhed. Jeg bestyrkedes deri ved, at jeg i Skanderborg Sø fandt ganske lignende Banker langs Kysten. At tænke sig, at selve Bunden i forskellige Søer normalt skal vise en Række isolerede Banker i omtrent samme Afstand fra Kysten, forekom mig absurd. Saalænge disse Bakker imidlertid ikke var kortlagte, kunde min Opfattelse maaske lidt vanskelig vinde Fodfæste. Nu viser Furesøkortet med al ønskelig Tydelighed (de mørktprykkede Partier nær Kysterne), navnlig langs Syd- og Vestkysten, men ogsaa ud for Stavnsholt og Næsset, en Række Banker, der ligger mellem 6 og 12 m



Vand, og paa hvis Top der kun er 2—5 m. De ligger alle i en Afstand af 100 -200 m fra Land. Alle ligger de i eller ved Randen af Skalbæltet, og alle bestaar, som fornyede Undersøgelser har vist, af enorme Aflejringer af Molluskskaller, mest Muslinger.

Der kan nu ikke blive Tvivl om, at i vore kalkholdige og molluskrige Søer med deres jævnt skraanende Kyster, deres urolige Vindforhold, hvor Brændingen pulveriserer Skallerne inde ved Kysten, og Syrerne fra Plantebælterne angriber dem kemisk, vil Skallerne ude i Skalbælterne, hvor der er større Ro, og hvor Planterne fattes, ved at aflejres komme til at spille Rollen som bundhøjnende Faktor.

Netop det ejendommelige Fænomen, at Mollusklivet virker som en bundhøjnende Faktor, er mig et yderligere Bevis for, at disse Skalbælter er overmaade gamle. Er dette rigtigt, og tør man gaa ud fra som sandsynligt, at Mollusklivet paa Grund af lav Vandstand og Vandets større Gennemsigtighed i svunden Tid gik længere ud, har vi ogsaa fyldestgørende Forklaring paa, at vi finder Skalaflejringer udenfor Molluskernes nuværende Udbredning.

Stenrevene. Et andet Fænomen, som ogsaa trænger til nærmere Omtale, er Stenrevene.

Som alt omtalt finder man næsten overalt langs Kysten en Stenbræmme. Dens Fremkomst er let at forstaa; Materialet til den har Bølgerne i fordums Tid hentet under deres Erosion mod Skraenterne. Langt vanskeligere at forklare er de Stenbrammer, der ligger 5—600 m fra Land, dels udfør Kysten ved Frederiksdal, dels i Kollekollebugten, dels oppe ved Stavnsoltkysten. Ud for Aagesholm ligger en enkelt meget stor Sten. Hvis den har en lignende Udstrækning i Dybet, maa den vistnok med i Fortegnelsen over Danmarks største Stenblokke. Stenmasserne har i gamle Dage været langt betydeligere og skal som Stenøer have hævet sig op over Vandspejlet; nu er de efter at de har afgivet Materiale bl. a. til Frederiksdals Stemmeværk<sup>1)</sup>, men vistnok ogsaa er blevet udnyttet til andet, blevet meget mindre; hist og her har de Karakter af Stenbanker eller spredte Stenmasser, enkelte Steder som Rev. Paa deres Dannelsesmaade kan jeg ikke give fyldestgørende Forklaring. Den Anskuelse, jeg har dannet mig, hænger sammen med hele min Opfattelse af Søens Oprindelse.

Har man snart i en Menneskealder Aar ud og Aar ind arbejdet med en Sø, dens Bundaflejringer, dens Planter og Dyr, opstaar uvilkaarlig Forestillinger om, hvorledes den er blevet til. Er man ikke Geolog, har disse Forestillinger vel ikke megen Værdi, men er de, som jeg synes, bleven fæstnede efter Korttegning, tør de vel fremsættes som Arbejdshypothese for de kommende Slægter. Da Arbejdet i sig selv aldeles ikke influeres af disse Anskuelser, der kun optager denne lille Plads, kan deres Fremkomst vel forsvares.

Det staar for mig, som om Søen er dannet i to Tempi. Oprindeligt var den kun halv saa stor, begrænset mod Syd af Bankerne, mod Vest var Dronninggaardhalvoen omtrent landfast med Stavnsoltkysten. Denne mindre Søs Nord- og Vestgrænser var de samme som nu. Hvor den har haft sit Aflob, vides ikke; maaske gennem Dalsænk-

<sup>1)</sup> Efter Oplysning, der gennem Oberst SAND velvilligst er blevet mig tilsendt fra Krigsministeriet.

ningen Storekalven. Det har rimeligvis været en ret lavvandet Sø. Paa et eller andet Tidspunkt er der fra den store Erosionsdal, hvorigennem nu Mølleaaen ovenfor Farum Sø løber, gydt uhyre Vandmasser ud i dette Søbækket, der for en Tid var som en sydende Heksekeddel; paa dette Tidspunkt er de store Dybder, Landets dybeste Punkter opstaaet. Søen er skyllet over sine Bredder, en mægtig Vandmasse erobrede hele den lave Dal mellem Stavsholt og Næssehalvøen, og Storekalven opstod; en anden skyllede ind syd fra Næssehalvøen, og derved dannedes Lillekalven, der gik ind lige til det Sted, hvor Holte Station ligger. Mod Syd arbejdede Vandet sig videre og videre frem. Det skyllede ind i Kollekollebugten og ned mod Frederiksdal. Stenrevene, der flankerer Kollekollekysten og Virumkysten, er Resterne af gamle Kystlinier. Da Anskuelsen kun har Hypothesens Værdi, og da alle de Undersøgelser i det omgivende Terrain, der skal støtte eller afkræfte den, mangler, skal jeg ikke nøjere udforme den.

Brunjærnstensaflejringerne. Brunjærnstensaflejringer blev paavist ved Undersøgelsen 1900. Det blev allerede den Gang iagttaget, at Brunjærnstenen væsentligst er knyttet til Skalbæltet og særlig til dets yderste Del, undertiden forekommer den lidt udenfor dette. Det blev yderligere paavist, at den for en ganske væsentlig Del var knyttet til Molluskskallerne, dels Muslinger, dels Snegle, især Valvater. Der blev ved Hjælp af Fotografier nøje gjort Rede for Maaden, hvorpaa disse Skaller omdannedes. Den Anskuelse fremsattes, at en af Betingelserne for Brunjærnstensdannelsen for vore Søers Vedkommende synes at være Molluskskallerne. STEENBERG har særlig haft sin Opmærksomhed henvendt paa dette Punkt og kom til samme Resultat som jeg i 1900. Han nævner, at han har fundet Brunjærnstenen paa 10 Stationer; selv kender jeg den fra 12 andre, dels langs Virumkysten, dels langs Nørreskov. Alle Stationer ligger i et Bælte af ca. 10—20 m, de fleste mellem 8—15 m. Molluskskallernes Omdannelse kunde iagttages i hver. En Gang er Brunjærnstenen paavist i Fiskebækbugten (7—10 m), samt paa Skraaningerne af Bankerne midt i Søen (11—12 m). Ud for samme Sted paa Kysten er Brunjærnstenen taget paa 10½—13—15 og 17—20 m.

Som yderligere Bidrag til Bonnemalmens Forekomst og Genese kan nu følgende fremhæves. Den optræder væsentlig i Søens sydlige Del. Den mangler vistnok ganske udenfor ca. 20 m og findes overvejende paa Stationer med Dybder paa ca. 15 m. Indenfor 7 m er den næppe heller noget Sted paavist. Den er altsaa en Bæltedannelse, men findes i dette Bælte ingenlunde overalt, men tværtimod pletvis; paa visse Steder optræder den i meget store Mængder. Hvor det er Tilfældet, er Bunden, som alt fremhævet i 1901, af en egen, brun Jærnfarve, der mangler, hvor Brunjærnstenen kun findes i ringe Mængde.

At Molluskskaller og Skalfragmenter i Furesø spiller en dominerende Rolle som de faste Legemer, udenom hvilke Jærnudsættningen fortrinsvis foregaar, er sikkert. Min Opfattelse af, at Molluskskallerne i vore Søer er en af Hovedbetingelserne for, at den Form for Bonnemalm, som her er Talen om, overhovedet kan opstaa, kan derimod næppe opretholdes. Bedre Apparater og fornyede Undersøgelser sammenholdt med de Resultater, WELTNER (1905) o. a. har publiceret over Bonnemalmsaflejringerne i Madüsee, har belært mig herom. Meget lærerig for mig var ogsaa en mindre Rejse til de smaalaandske Søer, hvor jeg efter Prof. JOH. GUNNAR ANDERSSON'S Anmodning



havde Lejlighed til at studere Sømalmsaflejringerne der. Idet jeg gaar ud fra, at der over disse mægtige Aflejringer før eller senere vil komme udførlige Beretninger, skal jeg, idet jeg væsentlig tager mit Udgangspunkt fra mine egne fornyede og WELTNER's Studier, føje følgende Bemærkninger til de i 1900 anstillede.

Som alt i 1900 nævnt findes pletvis i Brunjærnstensbæltet og navnlig i Bæltets yderste Del Jærnet optrædende som smaa bitte Korn med Diameter paa ikke over 1—2 mm. Ved Anvendelse af finere Sigter og tilsidst af Planktonnet og grov Møllergaze viste det sig, at disse ganske fint grynede Brunjærnstensmasser, særlig hvor Bunden var rødbrun af Farve, optraadte i uhyre Masser. Men desforuden kunde man mellem Søbundens øvrige Partikler i Materialet, der var sigtet gennem Planktonnettene, paavise Brunjærnstenen som et yderst fint Pulver, som skinnende sorte eller brune Punkter i den iøvrigt rødbrune Søbund. I mangfoldige Tilfælde kunde det iagttages, at Udfældningen var foregaaet udover Skalfragmenter, hvoraf Prøven indeholdt store Mængder; i mangfoldige andre kunde man imidlertid ikke paavise Skalstykker inde i Grynene; de havde som de større Kugler en rødbrun, let henfaldende Skorpe om en indre mørk Kærne. Kogtes Kuglerne i Saltsyre, bruste de op, og Syren blev stærk gulfarvet. Det viste sig imidlertid nu, at den overvejende Del af de smaa Gryn ikke opløstes fuldstændig, men der blev en Rest tilbage, der ganske fortrinsvis bestod af Sandkorn, tillige af ubestemmelige Kitinrester. Sigtedes Sandet i en Bundprøve fra Brunjærnstensbæltet fra, og lagdes en Del under Mikroskopet, kunde man se, at talrige Sandkorn bar en lille brun Hætte af Brunjærnsten.

Det synes heraf at fremgaa, at Udfældningen ikke særlig foregaar om Molluskskaller, men om alle Søbundens faste Legemer, det være sig Skalfragmenter, Sandkorn, Kitinrester, etc. Det er hidtil ikke lykkedes mig at bestemme disse Rester nærmere, men WELTNER (1905 p. 285) nævner særlig *Bosmina*-Skjolde, Diatomeer og Pollenkorn. Herved er noget af det gaadefulde, som knyttede sig til min Fremstilling i 1901 jo taget bort, og Brunjærnstensaflejringerne i Furesø er bragt i Overensstemmelse med dem, der senere blev studeret af WELTNER i Madüsee. Alligevel kan disse Dannelser langt fra siges at være forklarede.

Der kan ikke være nogen Tvivl om, at Furesøens Brunjærnstensaflejringer opstaar i Søen selv og ganske overvejende netop i det Bælte, hvori de findes. Det drejer sig ikke om Materiale, som fortrinsvis er opstaaet andre Steder i Søen og af Strømme og Bølger ført ud paa Aflejringslokaliteterne. Dette slutter jeg blandt andet deraf, at de enkelte Bønnemalmskugler overvejende er størst i Bæltets inderste Del, hvor Valvater og Muslinger endnu findes, og hvor de levende Valvater kryber om med Jærnudsæddinger paa Spidsen af Sneglehusene. I Bæltets yderste Del, hvor Molluskerne mangler, hvor det Materiale, hvormed Jærnudsæddingen kan foregaa, ikke er saa stort, hvor der kun findes smaa Skalfragmenter og Sandkorn, bliver Kornstørrelsen meget mindre.

Alle Undersøgere, WELTNER (1905), ASCHAN (1908), AARNIO (1915), er komne til det samme Resultat som vi herhjemme, nemlig at den særlige Form for Brunjærnstensaflejringer, som vi kalder for Bønnemalm, er en Bæltedannelse, der er beliggende paa noget forskelligt Sted i de forskellige Søer, i Furesø paa 10—20 m, i Madüsee paa 20—30 m (Se iøvrigt AARNIO 1915 p. 3). I Vidöstern er den i Modsætning til i Furesø væsentlig knyttet til Vegetationsbæltet, særlig til *Isoetes*-Bæltet. Det er der paa Egnen

en alm. Tro, at denne Plante paa en eller anden Vis over sin Indflydelse ved Søalmens Dannelse. Rødderne er ofte beklædt med tykke Cylindre af Søalm; de brydes i Stykker og forandres til perlesnorformede Kæder, hvis enkelte Led falder fra hinanden og ligger løst i Gytjen.

Der rejser sig nu det Spørgsmaal: Hvorfor er Bønnemalmsdannelsen indskrænket til dette Bælte paa ca. 7—20, højst 30 m? Hvorfor opstaar den ikke inde paa lavt Vand, og hvorfor mangler den ganske ude paa de dybere Søbunde? Fænomenet synes ved en løsere Betragtning at finde sin naturlige Forklaring deri, at de grovere Partikler som Skalfragmenter, Sandkorn, etc. i Furesø i hvert Fald næsten kun findes indenfor 20 Meter Kurven og næsten ganske mangler udenfor denne. Idet Inkrustationerne finder Sted om disse Smaastykker, og udsættes de for Rulning af Bølgeslag og Strøm, skulde man synes, at man her havde de vigtigste Momenter til Forstaaelsen af Bønnemalms Genese.

Saa ligetil er Sagen imidlertid ikke. De dybere Søbunde mangler jo for det første ikke grovere Materiale. Ganske blot for fint Sand er Furesøens dybeste Søbund ikke. Skalfragmenter særlig af Limnæer kan træffes; først og fremmest indeholder de dybeste Partier talrige Pisidier. Her rejser sig straks det Spørgsmaal: Hvorfor er Pisidierne fra 20—40 m aldrig inkrusterede med Brunjærnsten, medens de meget ofte er det i 10—20 m Bæltet? Hvorfor bærer Sandkornene ude over 20 m aldrig Hætter af Brunjærnsten, medens de næsten altid er mer eller mindre sorte i 10—20 m Bæltet? Hertil kommer endvidere følgende: Sigter man Bunden fra ca. 30 m gennem fine Planktonnet, finder man ikke Sigteproven saaledes som indenfor 20 m ligesom gennemdryset af talrige sorte Prikker. Det er et Fænomen, som kun træffes paa den Del af Søbunden, der ligger i 7—20 m Bæltet. At Strømme og Bølger ude paa Dybder af 10—20 m endvidere væsentlig skulde kunne bidrage til, at Partiklerne rullede, saa at derved Bønnemalms ejendommelige Kugleformer fremkom, er næppe sandsynligt. For dette Punkts Vedkommende har iøvrigt allerede POTONIÉ (WELTNER 1905 p. 288) rigtig fremhævet, at Rulning ikke er nødvendig, for at en Kugledannelse kan opstaa. En saadan fremkommer simpelthen ved, at Jærnet aflejres ligeligt om vedkommende i det bløde Slam nedsænkede Partikel.

For at forstaa Bønnemalms Genese maa man formentlig følge ganske andre Veje end dem, man indtil for nylig har fulgt. For Furesøens Vedkommende kan Opmærksomheden henledes paa følgende. Hvorvidt den følgende Forklaring har Gyldighed for Søalmsdannelse i andre Søer maa henstaa uafgjort. Denne er øjensynlig af en yderst forskellig Natur, og en Generalisering fra Sø til Sø er paa vor Videns nuværende Standpunkt næppe korrekt. Saa vidt jeg kan se, vil den næppe finde fuld Anvendelse til Forstaaelsen af de mægtige Aflejringer i Sverrig og Finland, fra hvilke Furesøaflejringerne i meget væsentlig Grad afviger (se særlig ASCHAN's og AARNIO's Arbejder).

Ud fra de Kendsgerninger, at Søbunden i Brunjærnstensbæltet har en pletvis stærkere rødbrun Farve, at faste Legemer inkrusteres med Jærn i dette, men ikke udenfor dette, at der sker en pulverformet Udfældning her, som ikke findes i andre Bælter, at Vandet, der løber af Bundhenteren, i dette Bælte altid er rødbrunt, men klart eller graat udenfor dette, har jeg draget den Slutning, at Jærnudfældningen foregik med større Intensitet i 7—20 m Bæltet end udenfor dette. Man maatte i saa Fald formode, at der i

dette Bælte fandtes Faktorer, der særlig maatte bidrage til Jærnsaflejringernes Opkomst. Det kunde synes mest nærliggende at lede Tanken hen paa Kilder, der skulde sende jærnholdigt Vand op over Søbunden. Den ret sporadiske Forekomst af Bonnemalmen i Bæltet kunde synes at give denne Anskuelse Berettigelse. Men heller ikke Kilderne alene vilde kunne forklare Bonnemalmens zonare Fordeling; thi det vilde dog være ganske unaturligt, at de særlig jærnførende Kilder i alle Søer fortrinsvis skulde udmunde i et bestemt Bælte.

Snarest maa man vistnok fæstne Tanken ved en af to Muligheder. Enten findes der i 7—20 m Bæltet Organismer, som her ude har deres Optima, og ved hvis Livsprocesser Jærnudfældningen foregaar, eller man maatte formode, at der i dette Bælte var særlige kemiske Forhold, der kunde bevirke dette. Den første Mulighed kan ganske vist, saalænge en bakteriologisk Undersøgelse ikke foreligger, ingenlunde afvises. En gennemført regelmæssig 14 Dags Undersøgelse et Aar igennem, som havde til Formaal at se efter, om Vegetationsbælterne udadtil ikke afsluttedes med et Bælte af Jærnbakterier, i hvis Skeder Jærnet udfældedes og opbevaredes, var meget ønskelig. Vore Søers dybere Bonnemalmsdannelse er, saa vidt vides, aldrig undersøgt bakteriologisk. (Om Bakteriernes mulige Betydning ved Sømalmsaflejringerne se særlig MOLISCH (1910), LIESKE (1911) og ELLIS (1907 og 1910); se ogsaa ASCHAN 1908 p. 61). Hvad den anden Mulighed angaar, da er vi imidlertid nu i det heldige Tilfælde at kunne konstatere, at her virkelig i dette Bælte raader særlige kemiske Forhold, forskellige fra dem, der findes ude paa dybere Vand, og at disse vistnok fuldt ud er i Stand til at forklare, hvorfor Bonnemalmsaflejringerne overalt kun synes at foregaa i en ganske bestemt Zone af Søbunden.

BIRGE og JUDAY (1911 p. 107) siger følgende: »If any insoluble oxide of iron be present in the bottom ooze, it may be reduced to a lower soluble oxide in the absence of dissolved oxygen and pass into solution, thus increasing the quantity of iron held in solution by the bottom water. Bottom waters which contain a considerable amount of iron soon become cloudy when exposed to the air, as the water absorbs oxygen and the iron is changed to a higher oxide which is precipitated. At the time of the vernal and autumnal overturns, the bottom water is aerated and the ferrous iron in solution is oxidized to ferric which forms a precipitate and sinks to the bottom, only to be reduced again and pass into solution when the dissolved oxygen disappears from the bottom waters».

Nu fremgaar det af BRØNSTED's kemiske Undersøgelser (BRØNSTED og W-L. 1912 p. 440), at Iltmængden ude paa de dybere Søbunde (33 m) under Stagnationen om Sommeren gaar ned til under 1% (0.92), medens den hele Sommeren igennem i ca. 15—20 m gennemgaaende er den samme som i Overfladen, som Regel næppe  $\frac{1}{2}$  % lavere. Dette Resultat er i høje Overensstemmelse med det, der er velkendt i adskillige andre baltiske Søer med Middeldyb (se senere). Naar da Bonnemalmen er en Lavvandsdannelse, fortrinsvis knyttet til 7—20 m Bæltet, er Grunden hertil følgende. Den ringe Iltmængde under Stagnationsprocesserne ude i de dybeste Vandlag bevirker, at Søbundens Ferriforbindelser kan reduceres til Ferroforbindelser, der, idet de gaar i Oplosning, øger Jærnmængden i de dybeste Vandlag, men samtidig bevirker, at permanente Jærnsaflejringer ikke finder Sted over Søbunden. Inde paa lavere Vand derimod, hvor Iltmængden hele

Aaret igennem omtrent er den samme som i Overfladen, finder der ingen Reduktion Sted, og det udfældede Jærn faar i Aarenes Løb Lov til at ophobe sig.

Efter at dette var skrevet, udkom NØRREGAARD's Afhandling (1916 p. 49). Den afhandler væsentlig Somalmens Forekomst i Søn Vidöstern og Äminne Bruk, som ogsaa jeg har besøgt, men den stræber tillige at samle, hvad vi overhovedet ved om Bonnemalmens Oprindelse. Det fremgaar af Afhandlingen, hvad ogsaa jeg har faaet Indtrykket af, at vi i alt væsentligt i saa Henseende stadig kun har Hypotheser at ty til, samt at de i Furesø fundne Aflejringer er betydelig forskellige fra de svenske. I Afhandlingen findes en Del Literatur vedrørende den uorganiske Udfældning af Jærn, som ikke er medtaget i dette Arbejde.

Søbundens Beskaffenhed udenfor 20 Meter Kurven. En nærmere Undersøgelse af Søbunden ude paa Furesøens vegetationsløse Gytjellader stod ikke paa den her publicerede Undersøgelser Program. I et tidligere publiceret Arbejde (1901 p. 88) har jeg lidt nærmere søgt at gøre Rede for, hvorfra det organiske og uorganiske Materiale stammede, som aflejredes paa Søbunden, den Rolle, det spillede som Ernæringsmateriale for Bundfaunaen og Resultaterne af den Ekskrementeringsproces, som de aflejrede Stoffer underkastedes. Det næste Trin i Undersøgelsen var et gennemført, kemisk-bakteriologisk Studium, baseret paa lagttagelser anstillede hver 14. Dag regelmæssig et Aar igennem. Personlig kunde jeg ikke foretage den Undersøgelse, og den kan vistnok ikke ret vel gennemføres uden i et Laboratorium, der ligger umiddelbart ved Søbredden.

Naar jeg alligevel her, omend i meget ufuldkommen Form, paa nogle faa Sider igen gaar ind paa denne Søs dybere Søbundsaflejringer, er det fordi Erfaringen har belært mig om følgende. Hvor man, som Tilfældet er med Bundaflejringer, skal arbejde ude paa Grænseomraader mellem mange Videnskaber (Bakteriologi, Geologi, Kemi, Botanik, Zoologi), kan den enkelte i vore Dage ikke magte Undersøgelsen, og det er kun gennem et videnskabeligt Udstykningsprincip, at man kommer til et Resultat. Enkelte af de i det følgende indflettede biologiske lagttagelser turde maaske faa Betydning for en Fremtids kemisk-bakteriologiske Undersøgelse.

Da jeg i 1900 undersøgte vore Søers dybere Søbundsaflejringer, benyttede jeg hertil kun en almindelig Skraber. Paa Grund af Bundens overalt fuldkomment bløde Beskaffenhed kunde man i den flydende Masse, man fik op, aldrig paavise den egentlige Overflade. I 1916, da Dr. PETERSEN's Bundhenter anvendtes, viste det sig, at denne, naar den forsigtig klappedes op, meget smukt aflejrede den øverste Overflade i næsten urørt Stand. Til de i 1901 angivne Oplysninger kan altsaa nu føjes følgende. Udenfor 20—25 m er Søbunden, saa vidt vides, overalt dækket af et fuldkomment ensartet, brunt Lag; dets Tykkelse er næppe over ca.  $\frac{1}{2}$  cm; nedenfor gaar dette mørkere Lag over i et Lag af mer eller mindre graa eller graasort Tone; hist og her finder man i de graasorte Massers øverste Del gullige Partier, der har en egen, meget ubehagelig Lugt, der noget minder om gammel Ost.

Jeg havde tænkt mig, at naar en Gang denne Overflade kom for Dagens Lys, vilde den vise sig at huse et rigt mikroskopisk Liv. FOREL havde for Schweizørsøernes Vedkommende omtalt, at disses Bund var dækket af et saakaldet «feutre organique», der i senere Afhandlinger og Undersøgelser ofte omtaltes som »organischer Filz«. Det skulde



bestaa af Palmellaceae, Crococaceae og Diatomeer; Oscillatorierne skulde være Laget sammen til et Tæppe. Mig bekendt har ingen nogensinde studeret dette Lag nærmere; der er ingen, der har turdet paastaa, at han under den Form, FOREL har omtalt det, har genfundet det. Selv har jeg under et 8 Dages Ophold hos FOREL haft Prøver, vi sammen tog op fra Genfersøens Bund, staaende i Kælderens hos FOREL, men jeg fik ikke dette Lag at se. Paa en senere Rejse til Schweiz spurgte jeg udtrykkelig dem, der havde ledet den store Undersøgelse af Vierwaldstattersøens Bundfauna, om de havde set det, men fik altid benægtende Svar. Paa den anden Side omtales fra Bodensøen af SCHRÖTER og KIRCHNER i en Dybde af 75 m »eine dünne farblose *Oscillatoria*-Art«, en Diatomeeflora identisk med Breddens, samt nogle Grønalger. Fra lac d'Annecy omtaler LE ROUX (1907 p.42) i 30—50 m en lignende Flora. Han siger at »les Oscillariées forment comme une trame lâche au tapis uniforme des Diatomées«.

For Bodensøens Vedkommende har LAUTERBORN (1907 p. 237) i en Dybde af 21 m paavist en Svovlbakterie (*Thioploca Schmidlei*). Hans fortræffelige Arbejde: Die sapropelische Lebewelt (1915 p. 395), saavel som WILHELM's Arbejde: Plankton und Tripton (1916 p. 113), omhandler Allejringer, som, om end de væsentlig hører mindre Vandmasser til, dog er nærbeslægtede med de dybe Søbundsallejringer.

Furesøens Bundallejringer synes ikke at vise noget, der kan betegnes som »feutre organique«. Lagt frisk under Mikroskopet viser det øverste brune Lag sig at bestaa af smaa fnuggede Gryn uden fast Form og med udflydende, uregelmæssige Rande. Iblanding af Lerpartikler var paa det Tidspunkt, jeg undersøgte Overfladen, Dec.-Jan., kun ringe, men det er meget sandsynligt, at Bundfældning af Leret foregaar til andre Aarstider, særlig efter Foraarsstormene og efter Isløsningen. Sandkorn findes næsten ikke; derimod staar der over Søbundsoverfladen i Skaalene store Mængder af brune, fnuggede Masser, utvivlsomt Jærnoxidhydrat, hvis Mængde sikkert ogsaa veksler til de forskellige Aarstider (se ovenfor). Den aldeles overvejende Del af de smaa ovennævnte Gryn har efter mit Skøn organisk Oprindelse.

Under mine Planktonundersøgelser fik jeg med Lukkenet paa dybt Vand ofte Resterne op af de Planktonorganismer, der tidligere havde dannet deres store Maksima i Overfladen. I de dybere Vandlag kunde man finde uhyre Masser f. Eks. af henfaldende *Ceratium hirundinella*. Skelettet var opløst i sine enkelte Plader, og foruden disse indeholdt Vandmasserne en utrolig Mængde fnuggede, grynlignende Masser, der ikke var andet end Celleindholdet. Form, Udseende og Størrelse af disse svævende Fnug svarer ganske til den fnuglignende, grynede Bundfældning paa Søbundens Overflade, nogle af dem bar endnu enkelte af Skelettets Plader siddende paa sig. Ud fra disse lagtagelser, anstillede mange Gange, er jeg tilbøjelig til at tro, at i vore ikke synderlig dybe Søer naar Planktonorganismerne Celleindhold, især efter de store Planktonmaksima, ofte som en fin Regn Søbundens og allejres paa denne. Filtrerer man det Vand, der løber fra Bundhenteren, viser det sig at indeholde uhyre Mængder dels af fnuggede Jærnudsættninger, dels Masser af Skeletdele af Planktonorganismer. Et mere gennemført Studium af dette Filtrat vil muligvis have Interesse.

Det rige Plante- og Dyreliv, som jeg efter Undersøgelserne i andre Lande maatte have ventet, fandt jeg i den ovennævnte brune Overflade kun meget lidt af. I den friske, lige optagne Prove ses intet til Traadbakterier eller Oscillatorier. Der findes en Del

Diatomeer, mest Kystformer, men de allerfleste er blege og øjensynlig døde. Kystens Diatomeeflora synes ikke en Gang at gaa ud til Vegetationens yderste Grænser, der her ude aldrig bærer de rige brune Diatomeebeklædninger, som især i Vinterhalvaaret i saa høj Grad karakteriserer Vegetationen ude i *Scirpus-Phragmites*-Zonens yderste Rand. Crocococceer findes næsten ikke. Af Chlorophyceerne er *Staurastrum*- og *Pediastrum*-Arter ret almindelige, men altid kun døde eller døende. Her er absolut ikke et af Oscillatorier gennemvævet »feutre organique«. Infusionsdyr synes nærmest ganske at mangle og af Rhizopoder, der i Schweizersøerne optræder i Mængde paa Søbunden, findes her næsten ingen. Derimod findes der talrige Chitinhude, særlig af Krebsdyr, især Bosminer, men derimod aldrig, ligesaa lidt som andet Sted under lignende Forhold, Skeletter af Hyalodaphnier.

Lader man Bundprøver fra Furesø henstaa flere Maaneder i Akvarier, bliver Resultatet et ganske andet. Man kan da med Spatel optage et øverste, sammenhængende, filtet Lag, hvor de enkelte Partikler spindes sammen af tallose, lange Bakterietraade og Oscillatorier. I dette Lag lever Masser af Infusionsdyr. Blæser man med Pipette Luft ned paa det, sprænges Laget, der gaar af som sammenhængende, brune Flager, der har dækket over et graat, pulveriseret Slam. Dette Lag gør ganske Indtrykket af et »feutre organique« et »organischer Filz«. Det mærkelige er kun, at jeg aldrig kan finde det i de friske Prøver, men at det kun fremkommer, naar Proven har staaet nogen Tid. Muligheden for, at det skyller af under Optagningen og først kan danne sig igen efter nogen Tid, kan naturligvis ikke bestrides. Paa den anden Side er der ogsaa den Mulighed, at FOREL's »feutre organique« kun er et Akvariefænomen.

Et gennemført Studium af denne øverste Søbundsoverflade vil kræve en ganske egen Teknik og ganske særlige Apparater.

Efter al Sandsynlighed er det dette allerøverste, næringsrige Detrituslag, som udelukkende tjener Bundfaunaen til Gode som Næringsmateriale. Det er det, man ser Chironomidelarverne strække sig ud i og trække ned i deres Rør, det hvori Tubificiderne roder, og som Pisidierne slubrer i sig. Større Ekskrementmængder findes ikke i dette Lag, de ligger fortrinsvis lidt dybere. Til ganske lignende Resultat er jo C. G. JOH. PETERSEN (1911—1913) kommet i sine banebrydende Studier over Havbundens Dyreliv.

Sammenligner man Furesøens Bundarter med dem, EKMAN (1915 p. 181) omtaler for Vätterns Vedkommende, bliver man slaaet af, hvor ensartet Furesøens Bund er i Sammenligning med Vätterns. Selv ude paa Dybder, der langt overgaar Furesøens, kan EKMAN paavise Sand, sandblandet Ler, Sand allejret paa Ler, Glacialler, Gytje, Plantedetritus o. s. v. Hele Furesøens Bund bestaar af et eneste sammenhængende Gytjelag, indenfor 20 m iblandt Brunjærsten og Sand samt talrige Skalfragmenter; Plantedetritus i større Mængder forekommer i Alm. ikke udenfor ca. 10 m. Grunden til denne Ensartethed for Furesøens Vedkommende er øjensynlig, at der paa Furesøens Bund er langt større Ro end paa Vätterns. Der finder ingen nævneværdig Omsedimentering Sted; Søbundens store Ensartethed er det bedste Bevis for, at Bundstrømme her ingen Rolle spiller.

I 1901 gjordes der opmærksom paa, at man i Furesøens Bundallejringer trods omhyggelig Undersøgelse aldrig var i Stand til at paavise nogen Lagdeling. Grunden hertil angaves at være den, at Bundfaunaens rodende og ekskrementerende Virksomhed



hindrede en saadan. Af megen Interesse er det nu, at STEUSLOFF (1905 p. 16) ved sine Studier af Kalkaflejringerne i Rederang- og Moorsee-Bækkenerne har kunnet paavise en saadan Lagdeling. Næsten kalkfrie og derfor graasorte Lag skifter med lysegraa med høj Kalkprocent (ca. 65.7 %). De kalkrige er tykkere end de kalkfattige, medens den absolute Mængde af organisk Substans omtrent er den samme i alle Lagene. Vistnok med Rette gør STEUSLOFF opmærksom paa, at man her har med »Aarringe« at gøre. De kalkholdige Lag afsættes i Juli-Sept., de kalkfattige om Foraaret. Paavisningen er af Interesse, bl. a. fordi Striberne i det saakaldte »varviga lera« jo er blevet tydet paa en ganske lignende Vis (DE GEER 1910). Naar jeg i sin Tid ikke kunde paavise Striberne i Furesøaflejringerne og heller ikke kan det nu, er det maaske fordi de i frisk Tilstand er altfor henflydende, muligvis kan de ses, hvis man raadede over Profiler, der gik ned i Aflejringerne dybere Partier.

### Bagsværd Sø.

Kort V A.

Søens Størrelse er 120.6 ha, H. o. H. 18 m. Den er strakt i Retningen VNV—OSO. Omtrent midt i Søen ligger en mindre Ø. Tilløbs- og Aflobsforholdene er ret mærkelige. Af egentlige Tilløb har Søen, særlig i Sommerhalvaaret, omtrent ingen. Hovedtilløbet i

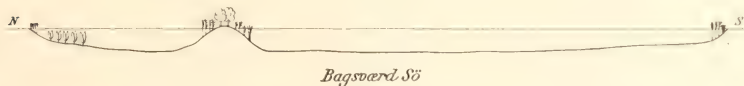


Fig. 8. Tværsnit.

Søens vestlige Hjørne, en lille Bæk fra Hulsø, fører den største Del af Aaret slet ikke Vand. Det naturlige Aflob findes ved Nybro, hvor Søen gennem en Kanal staar i Forbindelse med Aflobet fra Furesø, kort før dette træder ind i Lyngby Sø. For Øjeblikket forandres Aflobet imidlertid ofte til Tilløb, idet Vandet fra Furesø, enten naar der lukkes større Vandmasser ud gennem Slusen ved Frederiksdal, eller naar Østenstormen presser Vandet op gennem Bagsværddkanalen, løber gennem denne og ind i Bagsværd Sø. Man ser da Furesøens Vand som en mørk Stribe fortone sig op gennem det gulgrønne Bagsværdvand. Saa skifter Strømmen, og Kanalen, der nu tjente som Tilløb, bliver Aflob igen.

Bagsværd Sø er overordentlig lav. Dybden er 3 m. Kun helt oppe i den østlige Del findes en mindre Plet, der er 4 m. 2 Meter Kurven følger næsten overalt Kysten meget nøje og tæt ind til denne, derpaa skraaner Bunden ganske jævnt ned til 3 m, men dybere bliver Søen i alt væsentligt heller ikke. I vestsydvestlig Retning for Øen findes et Par mindre Banker, ellers synes hele Bunden udenfor 2 Meter Kurven næsten saa plan som et Stuegulv.

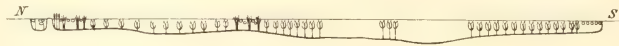
Bagsværd Sø er karakteriseret ved sit overordentlig uigennemsigtige, uklare Vand. Gennemsigtheden er den største Del af Aaret næppe mere end  $\frac{1}{2}$ —1 m. Det er, saa vidt jeg kan se, ikke Plankton, der foraarsager dette Fænomen, men derimod Bunden. Forholdet er ganske det samme som i Arresø. Selv en ikke stærk Vind spores ned paa Bunden af den lavvandede Sø. Bølgerne sætter Bunden op, og det er i hvert Fald for

en meget væsentlig Del svævende Bundpartikler, hvem det uklare Vand skyldes; at det er det uigennemsigtige Vand, der er en af Grundene til, at Planterne, trods den ringe Dybde, ikke er i Stand til at brede sig, saa at Søen ikke gror til, er utvivlsomt.

### Lyngby Sø.

Kort VI A.

Størrelse 57.4 ha, H. o. H. 18 m. Den sidste af Mølleaaens Søer optager Mølleaaen i sit vestlige Hjørne; den forlader Søen i det østlige. Da Vandmassen, Søen modtager, i Forhold til Søens Størrelse er meget betydelig, har den et hastigt, gennemstrømmende Vand. Søen er overordentlig lav, kun et eneste Sted ud for den sydlige Kyst med Dybde



*Lyngby Sø*

Fig. 9. Tværnsnit.

paa  $4\frac{1}{2}$  m, men iøvrigt næsten overalt paa ca. 3 m, som oftest kun  $2\frac{1}{2}$  m. Omtrent hele Søens Overflade er i Sommertiden dækket med Vegetation. Den gror meget stærkt til. Herom og om de to Øer midt i Søen vil findes nærmere Oplysninger i det botaniske Afsnit (Fig. 9).

### Søllerød Sø,

Kort VII A.

den mindste af de til Sødistriktet hørende Søer, er kun 13.9 ha, H. o. H. 21 m. Det meget lille Tilløb findes i Søens østlige Ende, Afløbet, der falder ud i Vejle Sø, i den vestlige. Søen er af aflang Form, strækkende sig i Retning ØNØ. Den er i sin sydlige Del omgivet af høje Bakker, der hæver sig til ca. 20 m over Vandspejlet.

I Forhold til sin Størrelse er den af en dansk Sø at være mærkelig dyb. Maksimaldybet, der ligger som en jævn Slette omtrent midt i Søen, er 9 m. Søbækkenets Sider er meget stejle, endnu 7 Meter Kurven følger over store Dele af Søen Kysten meget nøje. Omtrent midt paa Søens nordlige Del naar 8 Meter Kurven tæt ind til Land. Ikke mere end ca. 50 m fra Land naar Søen her næsten sin største Dybde. Kun nede i Søens vestlige Hjørne er den noget mere lavvandet. Paa Grund af de stejle Fald ned imod Sødybet er Vegetationen overalt meget ringe. Naar den ikke er nærmere beskrevet i dette Arbejde, er det fordi en meget stor Del af Søbredden indgaar i Villahaver og sikkert ikke længere har sit naturlige Præg.

## KAPITEL III

### Bemærkninger til Plantekortene over Bastrup Sø, Farum Sø, Bagsværd Sø og Lyngby Sø

af

Cand. mag. JOHS. BOYE PETERSEN

med Bemærkninger om vore Søers Tillukning

af

C. WESENBERG-LUND.

#### Indledning.

Formaalet med nærværende Undersøgelse, der gik Haand i Haand med WESENBERG-LUND's bathymetriske Undersøgelse, var at forsøge ved Hjælp af Kortlægning at danne et let overskueligt Billede af Vegetationen i de Søer, der afvandes af Mølleaaen. Saadanne Vegetationskort vil være i høj Grad nyttige dels ved sammenlignende Studier over Søers Vegetation, dels ved Studier over de enkelte Planters Afhængighed af Kaarene, dels endelig ved kommende Tiders Studier over Søernes Tilgroning.

Der er ved Undersøgelsen kun taget Hensyn til de Planter, der vokser i selve Søbækkenet, altsaa kun de rene Vandplanter og Rørsumpens Planter (WARMING 1895 pag. 136). Derimod er ikke medtaget hverken Strandbreddens Planter eller de, der vokser i Kærmoser ved Randen af Søerne.

Endvidere er kun medtaget Fanerogamer, Karkryptogamer, Characeer og Mosser.

#### Methoder.

Til Maalingerne anvendtes ialt 4 Metoder, nemlig:

1. Maaling med en 100 m lang Line.
2. Sekstantmaaling.
3. Indskæring af Punkter ved 2 Guider af Generalstaben.
4. Stadiemaaling.

Jeg skal kort omtale disse Metoder, idet jeg iøvrigt henviser til Oberst SAND's Redegørelse.

Til Methode 1 anvendtes som omtalt pag. 10 en 100 m lang Staalline, der var inddelt i Meter og forsynet med særlige Mærker for hver 5 og 10 m.

Denne Line fæstedes paa Land, lige ved Strandbredden, enten til et Træ eller lignende eller til en i samme Anledning nedrammet Pæl. Linen var oprullet paa en Valse af Træ. Ved Hjælp af en Baad rullede den nu efterhaanden op i en Retning saa vidt muligt vinkelret ud fra Kysten, idet den stadig holdtes strammet. Hver Gang Baaden havde bevæget sig et vist Stykke udad, f. Eks. 10 eller 25 m, gjordes Holdt, Dybden maalt, og Planterne noteredes, eller man maalte ganske simpelt Plantebælternes Bredde med Linen samtidig med, at der gjordes Lodskud med passende Mellemrum. Vi noterede ogsaa Linens Retning ud fra Land, idet vi lagde Mærke til, hvor denne Retning omtrent vilde skære den modstaaende Kyst.

Paa det Sted, hvor Linen var fæstet paa Land opstillede et lille Flag, hvis Plads senere bestemtes nøjagtig af Generalstabsguiderne ved simpel Skæring fra den modsatte Kyst.

Afstanden mellem saadanne Maalinger med 100 m-Linen var noget forskellig, afhængigt af Søens Størrelse og Vegetationens Art og Sammensætning. Hvor den var mangearartet og meget foranderlig fra Sted til Sted, lagdes Linerne tæt, derimod paa Kyststrækninger med en meget ensformig Plantevækst med større Afstande.

Altid gjordes Notitser om Plantevæksten mellem »Line-Stationerne».

Sekstantmaaling anvendtes næsten kun paa Bagsværd Sø til Indlæggelsen af *Potamogeton*-Grupperne paa Kortet. Paa den Aarstid, da Hovedopmaalingen af denne Sø foregik, nemlig i Juli 1911, var navnlig *Potamogeton crispus* ikke synlig i Vandoverfladen, saa at det var umuligt at se Gruppernes Begrænsning, idet Vandet i Bagsværd Sø er saa uigennemsigtigt, at man slet ikke kan se noget af, hvad der findes paa Bunden. For alligevel at faa disse Plantegrupper med paa Kortet opmaalte jeg dem i Juni 1912 ved Hjælp af en lille Sekstant. Fremgangsmaaden var følgende: Vinklerne mellem Sigte-linierne til 3 eller 4 bekendte Punkter fra Kysten maalt, og senere kunde da ved Hjælp af en Transportør findes det Punkt paa Kortet, hvor Baaden laa, da Maalingen gik for sig. For at Baaden ikke skulde forandre sin Plads under Maalingen, udkastedes et lille Anker. Paa denne Maade bestemtes en Mængde Fikspunkter paa Grænserne for *Potamogeton*-Grupperne; men Methoden er temmelig sen og giver endda ikke nogen synderlig stor Nøjagtighed.

Methode 3 er den samme, som væsentlig er anvendt ved Dybdemaalingerne og skal derfor ikke nærmere omtales her. Til den botaniske Undersøgelse anvendtes den navnlig paa Lyngby Sø, hvor Lodskudspunkterne fortrinvis toges paa Plantebælternes Grænser. Samtidig med Dybden noteredes saa Plantevæksten, og endnu i samme Sommer tegnedes Kortskitsen væsentlig i en Baad ude paa Søen med Benyttelse af de fundne Fikspunkter og tilhørende Notitser.

Stadiemaaling udførtes af een Generalstabsguide. Han har Maalebordet med et Kort over Søen opstillet paa et Sted, hvis Plads paa Kortet er nøje bestemt. Paa Maalebordets Lineal er fæstet en Kikkert med Traadkors, saaledes at Kikkertens Sigtelinie er parallel med Linealens Kant. Ude i Baaden paa Søen rejses en lang inddelt Stang (Stadiet) op, naar man ønsker Stedet bestemt. Guiden aflæser da, hvormange af Stangens Delstreger han ser mellem Traadkorsets to vandrette Traade. Herved kan han paa en Tabel finde Afstanden til Baaden paa Kortet, og den afsættes straks ud ad Sigtelinien fra Stationen til Baaden.

Ved at benytte de ved de nævnte Metoder fundne Fikspunkter, supplerede ved Iagttagelser paa Stedet, tegnedes derefter Vegetationskortene. Vægten lagdes paa at fremstille de fremherskende Planters Udbredelse og Fordeling, og derfor udførtes Kortene paa den Maade, at hver Planterarts Vækstplads angaves ved en særlig Signatur. Naar der var blandede Bestande, angaves alle Arternes Signaturer jævnsides. De sjældnere Arter har slet ikke faaet Plads paa Kortene, saa for saa vidt kan disse ikke siges at være fuldstændige; men jeg nævner i Teksten altid, i hvilket Bælte de sjældnere Arter forekommer. Jeg tør dog ikke paastaa, at jeg har faaet alle disse med.

### Plantesamfundene.

Plantesamfundene i den enkelte Sø grupperer sig oftest som mere eller mindre tydelige Bælter langs Bredden. Undertiden er dog de forskellige Samfund blandede stærkt mellem hverandre, saa at de er vanskelige at adskille. Bæltedannelsen skyldes aabenbart, at forskellige Faktorer af Betydning for Planternes Trivsel forandres gradvis fra Bredden ud mod det dybe Vand. At de enkelte Plantesamfund blandes mellem hverandre skyldes formentlig, at flere af disse økologiske Faktorer spiller sammen. Det er derfor aabenbart en meget indviklet Sag at udrede de enkelte Faktors Virkning paa Bæltedannelsen, og det ligger ogsaa udenfor nærværende Undersøgelses direkte Formaal at komme ind herpaa. Derimod vil forhaabentlig det Materiale, som gennem Plantekortene er bragt til Veje, kunne anvendes ved videregaaende Studier over det interessante Emne, de økologiske Faktors Indflydelse paa Planterarternes Fordeling i Søer.

Vi maa her nøjes med et Par Antydninger vedrørende denne Sag.

De Faktorer, der kan komme i Betragtning, er vel navnlig Vandets Dybde, Lyset, Varmen, Bundens Beskaffenhed og Bølgeslaget, der bestemmes af den fremherskende Vindretning og Søens Form og Størrelse, samt Isen.

Vandets Dybde sætter en direkte Grænse for mange Planters Udbredelse i Søen, idet disse Planter i Løbet af Vækstperioden skal vokse op til eller over Vandfladen med Blade og Blomster. For helt submerse Planter spiller Vandets Dybde i sig selv vel en mindre Rolle. For disse Planter er derimod Lysforholdene sikkert meget vigtige, idet Vandet jo indsuger en større eller mindre Mængde Lys, alt efter dets større eller mindre Klarhed, og de vil da blive udsatte for Lysmangel i en vis Dybde.

Ogsaa Varmeforholdene er sikkert af Betydning. Som W-L. (1911 pag. 88 ff.) gør opmærksom paa, er Vandets Temperatur paa Søers Nordsider gennemgaaende betydelig højere end paa Sydsiderne, og der er ikke Tvivl om, at dette Forhold tilligemed andre vedrørende Varmens Fordeling kan have ikke ringe Indflydelse paa Planternes Forekomst.

Den mekaniske Virkning af Bølgeslaget ind mod Kysten er paa mange Steder bestemmende for Planterækstens Art; der bliver derfor stor Forskel paa Lækysternes og Brændingskysternes Vegetation, ja undertiden kan Brændingen være saa stærk, at alle højere Planter Trivsel umuliggøres. Endvidere vil Bølgerne navnlig virke paa det lavere Vand, hvor Bevægelsen naar ned til Bunden og kan rode op i den. Længere ude vil Planterne, selv paa Brændingskysterne, ikke generes saa meget af Bølgeslaget. Om Isens Indflydelse se senere.



De Plantesamfund, som nu navnlig kommer i Betragtning, er, om vi bruger de samme Navne som WARMING (1895):

1. Rørsumpene.
2. Limnæernes Samfund.
3. Nereidernes Samfund.
4. Hydrochariternes Samfund.

1. I vore Søer er Rørsumpenes Bælte (Fig. 10) udviklet saa godt som overalt langs Bredderne paa lavt Vand, og Grænsen for denne Plantevæksts Udbredelse er i Almindelighed ved  $1\frac{1}{2}$ —2 m Dybde. De fremherskende Planter er:

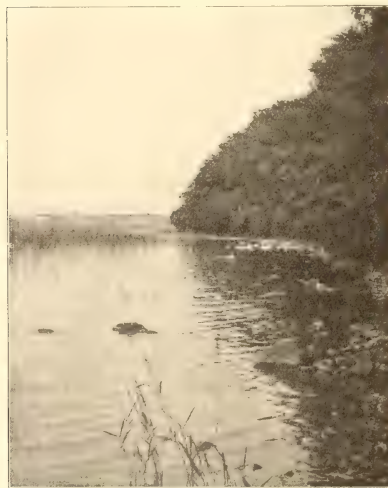


Fig. 10. Furesø; *Phragmites* begynder et Stykke udenfor Kysten.

*Phragmites communis* Trin.  
*Scirpus lacuster* L.  
*Typha angustifolia* L.

Disse Arter danner undertiden hver for sig rene Bestande, og man ser Antydning af Bæltedannelse; men ofte vokser de imellem hverandre.

Angaaende deres Fordeling er jeg kommen til følgende Resultater, der i det væsentlige synes at være i Overensstemmelse med, hvad der er fundet i Skarridso af WARMING (1897 pag. 176) og i Bodensøen af BAUMANN (1911 pag. 238).

*Phragmites* er den af Arterne, der er mest uafhængig af Vandets Dybde, idet den kan vokse helt paa Land, men til Tider naar ud til en Dybde paa over 2 m. *Scirpus* og *Typha* er langt mere bundne til en bestemt Dybde af Vandet, nemlig ca.  $\frac{1}{2}$ —2 m Vand.

*Phragmites* synes at vokse bedst paa fast Bund; de to andre Arter bedst paa blødere Bund. Hvor denne er Dynd,

ser man derfor *Scirpus* og *Typha* rykke længst bort fra Kysten. Hvor Bunden er stenet eller gruset, som i Reglen paa fremspringende Næs, tager *Phragmites* gerne Tøten.

*Phragmites* og *Scirpus* synes begge at kunne taale temmelig stærk Brænding, *Typha* derimod ikke. Denne forekommer derfor næsten udelukkende paa Lækyster. At der dog ogsaa er en Grænse for de to førstnævnte Arters Evner til at taale Brænding, ses f. Eks. i Furesøen paa Sydkysten, hvor der aabenbart er noget for stærk Uro for dem. Sivbælterne her, der bestaar af saavel *Phragmites* som *Scirpus*, er baade smalle og kummerlige at se paa, mangler helt nogle Steder, medens der paa andre Steder ind mod Land



efterlades et plantetomt Bælte. En medvirkende Grund hertil er maaske ogsaa Belysningens ringe Styrke inde under de høje Brinker og Skove.

Tæt inde ved Land træffer man i Rørsumpens Bælte en Del andre Planter, som nærmest hører hjemme paa Moserne eller helt paa tørt Land, men som taaler at vokse paa lavt Vand. Disse Arter er ikke medtagne paa Kortene, men nævnes i Beskrivelserne af Vegetationen i de enkelte Søer.

Endvidere ser man ofte Arter af Limnæernes og Hydrochariternes Samfund inde mellem Sivene.

2. Limnæernes Samfund træffes ellers i Reglen som en bredere eller smallere Zone uden for Sivbæltet paa ca. 2—7 m Dybde; men mange Steder, særlig paa stærkt vind-eksponerede Kyster kan det mangle helt.

Man kan skelne tre Associationer indenfor dette Bælte:

- a. Nymphæaceernes Association.
- b. Potamogetonaceernes Association.
- c. De helt submerse Limnæers Association.

Nymphæaceernes Association omfatter Arter, der er rodfæstede og forsynede med Flydeblade; Blomsterne hæves paa en Stængel op over Vandfladen. Hertil hører først og fremmest de to Arter:

*Nymphæa alba* L.  
*Nuphar luteum* (L.) Sm.

Men hertil slutter sig endvidere:

*Potamogeton natans* L.  
*Polygonum amphibium* L.

Dette Bæltes Yderrand findes gerne ved 2—2½ m Dybde, hvorfor det i det hele er smalt og slutter sig tæt til Rørsumpene. Det kan til Sammenligning anføres, at BAUMANN (1911 pag. 474) angiver, at Nupharetum i Untersee (Bodensø) udbreder sig i 2.5—4 m Dybde, og det er dog væsentlig de samme Arter, som hos os. Denne Forskel i Dybden er det vel vanskeligt at paapege Aarsagen til.

Nymphæaceerne taaler kun meget lidt Bølgegang, og derfor kan de kun trives i rolige Vige; her bliver de saa til Gengæld ofte eneraadende, idet de med deres Flydeblade dækker hele Vandfladen og kvæler al anden Plantevækst. Andre Steder kan de ikke finde tilstrækkelig Ro paa anden Maade end ved at tage til Takke med at vokse inde mellem Sivene.

Angaaende de enkelte Arters Forekomst kan jeg endvidere gøre opmærksom paa, at *Nymphæa* i Reglen kun findes paa 1—2½ m Dybde, medens *Nuphar* dels vokser paa de samme Steder, men ogsaa paa meget lavere Vand. Som *Nuphar* forholder sig tillige *Potamogeton natans* og *Polygonum amphibium*; denne optræder jo endogsaa som Landplante.

Potamogetonaceernes Association omfatter en Del Arter, især af *Potamogeton*, som er rodfæstede, men mangler Flydeblade, og som kun sender en blomstrende Stængel op over Vandfladen. Disse Arter taaler en større Dybde end Nymphæaceerne. Maksimaldybderne for de Arter, der maa regnes herhen, er:

|  |                           |             |
|--|---------------------------|-------------|
| <i>Batrachium circinnatum</i> (Sibth.) Fr..... | 7 m (S. R.) <sup>1)</sup> | (Fure Sø)   |
| <i>Potamogeton crispus</i> L.....              | 7 - —                     | —           |
| — <i>lucens</i> L.....                         | 7 - —                     | —           |
| — <i>obtusifolius</i> M. & R. ....             | 2 -                       | (Lyngby Sø) |
| — <i>pectinatus</i> L. ....                    | 7 - (S. R.)               | (Fure Sø)   |
| — <i>perfoliatus</i> . . L.....                | 7 - —                     | —           |
| — <i>zosterifolius</i> Schum. ....             | 3 -                       | —           |
| — <i>mucronatus</i> Schrad.....                | 7 - —                     | —           |
| — <i>trichoides</i> Cham. et Schl.....         | 7 - —                     | —           |

Det synes herefter, at de fleste af Arterne, og da alle de, der har en større Udbredelse, kan naa ud til 7 m Dybde; men i Virkeligheden er det kun *Batrachium circinnatum*, *P. pectinatus* og *P. perfoliatus*, der trives godt paa de større Dybder.

De helt submerse Limnæers Association. Den Association, der naar længst ud fra Bredden, er de helt submerse Limnæers Association. Arterne er gerne smaa, kommer aldrig op til Overfladen, og Blomsterne, om de bærer saadanne, maa forblive under Vandfladen. Denne Association er særlig godt udviklet i Furesøen, og den gøres der til Genstand for nærmere Omtale. De Plantearter, som maa regnes til dette Bælte, er *Elodea canadensis*, *Tolypellopsis stelligera*, flere *Chara*-Arter, nogle *Nitella*'er, *Fontinalis antipyretica*, samt nogle Hypnaceer. Sammen med disse vokser ofte Medlemmer af Hydrochariternes Samfund, som ret straks skal omtales lidt nærmere, og ligeledes flere af *Potamogeton*-Bæltets Arter særlig *Potamogeton perfoliatus* og *P. pectinatus*, samt *Batrachium circinnatum*.

De helt submerse Limnæers Association mangler helt i nogle af Søerne.

3. Nereidernes, de stenelskende Vandplanters Samfund, omfatter hos os i de ferske Vande navnlig smaa Alger. Ved nærværende Undersøgelse var det af mange Grunde umuligt at faa denne Vegetation med, og der nævnes derfor intet om den i det følgende. Alene Umuligheden af at kende Arterne makroskopisk er Grund nok til, at dette Samfund maatte forbigaa.

W-L. vilde dog gerne om Nereidernes Samfund i Furesø bemærke følgende:

Hver Sommer dækkes Stenene i Furesø med talrige Rivulariacee-Kugler, vistnok væsentlig *Rivularia dura*, *minutula* og *rufescens*, i mindre Grad *Gloiotrichia pisum*. I Sommerens Løb bliver de stærk kalkinkrusterede; iblandet mellem dem findes ogsaa Brunalgen *Pleurocladia locustris*. Alt efter den større eller mindre Kalkinkrustation, et Fænomen der øjensynlig staar i Forbindelse med Temperatur og Vandstand, bliver Stenene i Furesø henimod Eftersommeren mer eller mindre hvidgraa. Laget af kalkinkrusterede Alger kan godt være over 1 cm tykt. De kalkproducerende Alger beklæder Stenene til ud over 1 m, undertiden ud til 2 m.

I November forandrer den hvidgraa, kalkinkrusterede Sten i den øverste Zone ud til ca.  $\frac{3}{4}$  m Farve; dette skyldes Diatomeer. Stenene bliver sortegrønne og dækkes med et 5—6 cm langt, slimet Overtræk, kun bestaaende af Diatomeer i lange Gelerør. Udenfor ca.  $\frac{3}{4}$  m findes derimod denne Bevoksning ikke. Hovedformerne er vistnok *Pinnularia*

<sup>1)</sup> Ved Mærket (S. R.) efter et Tal eller et Plantenavn antydes, at vedkommende Tal eller Art er fundet af Fru SEIDELIN RAUNKJÆR.

og *Navicula*-Arter. Hen paa Vinteren, kort før Søen lægger til, bestaar Bevoksningerne overvejende af *Tabellaria*, der samtidig beklæder alle under Vand værende Dele af *Scirpus* og *Phragmites*. Tilsyneladende bliver disse derved mer end en Gang saa tykke som de i Virkeligheden er. Sker der af en eller anden Grund en Vandstandssænkning, saa at disse Diatomeebelægninger kommer over Vandet, tørrer de ind, og *Scirpus-Phragmites*-Zonen faar da forneden et snehvidt Bælte, der som en bestemt Farvetone præger Landskabet. Isen lægger sig sjældent paa den Maade, at den en Gang lagt bliver liggende. Søen fryser i Begyndelsen til ved Bredderne hver Nat og bryder saa atter op. Under disse skiftende Islægning- og Isløsningstider skurer Isen Stenene i den inderste Litoralzone rene for Diatomeer. Der dannes Diatomeeslam mellem Stenene, og kun paa disses Sider, hvor Isen ikke har kunnet naa, bliver Diatomeerne siddende.

De assimilerer under Isen, navnlig i klart Solskin; Ilten frigøres, Luftblærer samler sig under Isen, og idet de gaar lodret til Vejrs, tegner de hver enkelt Stens Kontur af i Isen. De af Diatomeerne frigjorte Iltmængder tegner i den overliggende Is under dens Vækst, idet de kun sidder paa Kanterne af Stenene, alle Litoralzonens Sten af i Isen.

Til Slut lægger Vinterisen sig over Søen, og den største Del af Diatomeebelægningerne fryser nu inde i Isen. Naar da Isen om Foraaret bryder op, skurer den Stenene rene; Bølgerne tager i Foraarsstormene det afskurede Materiale og fører det ud over Søen. Hovedplanterne, der dækkede Stenene før Islægningen, var *Tabellaria*, dels *T. fenestrata*, dels *T. flocculosa*. Umiddelbart efter Isløsningen viser sig stigende Mængder af *Tabellaria* i Planktonet. Den optræder paa det Tidspunkt som lange Kæder. I Furesø som i andre Søer forandres Kæderne i Maj-Juni til Stjerner eller Kæder af Stjerner; saa hører Maksimum'et op.

Allerede tidligere (1904 p. 80) har jeg kort omtalt dette Fænomen, som ikke senere er blevet paavist. Den aldeles regelmæssige aarlige Tilbagevenden af det samme Fænomen: *Tabellaria*-Kæderne før Islægningen paa Stenene, Kædernes Optræden i Plankton efter Isløsningen tyder paa, at Planktonets Foraars-*Tabellaria* stammer fra Litoralzonens *Tabellaria*-Bevoksninger, eller med andre Ord, at der hos Furesøens *Tabellaria*er er en Sæsondimorfi: et fasthæftet Vinterstadium, der løsriver af Isen og et pelagisk Foraarsstadium, der rimeligvis som en Art Tilpasning til det nye Milieu forandrer Koloniformen fra Kæder til Stjerner. Jeg har set dette Fænomen gentage sig hvert Aar i de sidste 20 Aar. Det nævnes her, fordi den fremsatte Anskuelse har Arbejdshypothesens Værdi for fremtidige Undersøgelser.

4. Til *Hydrochariternes* Samfund regnes Arter, som ikke er rodfæstede og derfor er udsatte for at skylles bort af Bølger og Vandstrømninger. Nogle af dem har Flydeblade, andre er helt submerse.

Dette Samfund repræsenteres i vore Søer væsentligst af efterfølgende Arter:

|  |         |
|--|---------|
| <i>Ceratophyllum demersum</i> L....    | 1¾—7 m  |
| <i>Hydrocharis morsus Ranae</i> L..... | 2 -     |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> L. ...    | ¾—5½ -  |
| — <i>verticillatum</i> L. ...          | ca. 1 - |
| <i>Stratiotes aloides</i> L. ....      | 1—4 -   |
| <i>Utricularia vulgaris</i> L.....     | ¾—2 -   |

Hydrochariternes Samfund danner næsten aldrig særegne, rene Bevoksninger, men forekommer blandede mellem Limnæerne. Flere af Arterne kan trives under to væsentligt forskellige Forhold. Enten vokser de tæt ved Land, i Læ af anden Plantevækst, paa Steder, hvor Vandet altid er roligt, og hvorfra de ikke er udsatte for at skylls bort; eller ogsaa vokser de paa temmelig dybt Vand, hvor de ligger paa Bunden eller hæver sig noget op fra den, men dog ikke saa højt, at Bølgerne paa Overfladen kan virke med synderlig stor Kraft paa dem. Der kan her i Følge Sagens Natur kun være Tale om de helt submerse Arter. Som Eksempel kan især fremhæves *Stratiotes aloides*, der i Lyngby Sø mest vokser inderst i alle Vigene med Læ og brede og tætte Plantebælter udenfor, medens den i Furesøen i Bugten »Store Kalv«, findes i en Dybde paa  $1\frac{1}{2}$ —3 m, submerst levende. Den har her et fra dens sædvanlige noget afvigende Ydre, idet den har længere, mere slatne Blade, ligesom Farven er noget blegere grøn, aabenbart som Følge af det svagere Lys (Se senere). Lignende forskellig Forekomst kan ogsaa *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum* og *Utricularia vulgaris* opvise.

## De enkelte Søer.

### 1. Bastrup Sø.

Kort I B.

Paa denne Sø foretoges Opmaalingen udelukkende ved Generalstabsguidernes Hjælp, idet den bathymetriske Maaling og Maalingen af Plantebælterne her fulgtes ad. Der toges en Række Lodskud i selve Sivranden, hvorved denne fikseredes.

Bastrup Sø er den mindste af de undersøgte Søer. Den udmærker sig ved sin langstrakte, noget bugtede Form og ved sine regelmæssigt liggende Dybdekurver. Saavel paa Nord- som paa Sydkysten skraaner Bunden brat ned til 6—7 m Dybde, medens Skraaningerne ved Søens Ender er mindre bratte. Bunden er iøvrigt nogenlunde flad.

Plantevæksten er meget fattig paa Arter. Det eneste Samfund, der er veludviklet er Rørsumpen. Den mest fremtrædende Art er her *Phragmites communis*, medens *Scirpus lacuster* kun har meget ringe Udbredelse. *Typha angustifolia* danner Sivranden i begge Søens Ender, men dækker ogsaa kun et ringe Omraade. Et enkelt Sted vokser *Helocharis palustris* og *Equisetum limosum*.

Nymphaeaceernes Association er repræsenteret af *Polamogeton natans* og *Polygonum amphibium*, der begge vokser i nær Tilslutning til Sivbæltet i Søens vestlige Ende i  $1\frac{1}{2}$ —2 m Dybde. De andre Samfund mangler helt i Bastrup Sø. Dette vil med andre Ord sige, at Søbunden udenfor ca. 2—3 m, næsten er fuldkommen nøgen.

At forklare denne Fattigdom er i og for sig ikke let, men man kan tænke sig, at 1) Litoralregionens ringe Omfang i Søen kan bidrage hertil, idet, som ovenfor nævnt, Skraaningerne ned til forholdsvis store Dybder er ret bratte; 2) vil vel Søens meget uklare Vand, der ligner det i Bagsværd Sø, være en Hindring for, at en Bundvegetation i større Dybde kan opstaa.

## 2. Farum Sø.

Kort II B.

Opmaalingen foretoges væsentlig ved Hjælp af 100 m-Linen. Kun enkelte Steder, saaledes i Vestenden og i den sydlige Bugt lagdes Sivranden ind ved Generalstabsguidernes Hjælp. Endvidere suppleredes disse Maalinger ved nogle faa Sekstantmaalinger, samt ved Iagttagelser paa Stedet.

Farum Sø ligner i Størrelse og Form meget Bagsværd Sø, idet den ligesom denne har en smallere vestlig Del og en bredere østlig, men medens Bagsværd Sø's Længderetning nærmest ligger i VNV.-lig Retning, er Farum Sø strakt i VSV.-lig Retning. Den største Forskel mellem de to Søer er der imidlertid i Dybdeforholdene. Farum Sø naar en ret betydelig Dybde, nemlig 16 m og har ligesom Furesøen en meget uregelmæssig Bund, ofte med bratte Skrænter. Store, flade, lavvandede Partier findes kun ved Sydkysten i den store Bugt, og her er Plantebælterne ogsaa bredest. Langs Nordkysten falder Bunden de fleste Steder brat ned til stor Dybde, og som Følge heraf er Vegetationsbælterne smalle.

Om Sivbælterne, der bestaar af de sædvanlige 3 Arter, er at bemærke, at almindeligst er *Phragmites* og *Scirpus*, der de fleste Steder vokser Side om Side. *Typha* staar mest yderst i Bæltet og danner Sivranden paa store Strækninger, navnlig i Søens Vestende og paa Sydkysten. I Sivbæltet forekommer hist og her:

*Equisetum limosum*

*Carex rostrata*.

Naar undtages en smal *Nymphæa*-Gruppe i Vestenden af Søen, findes Nymphæacee-Associationen i Farum Sø udelukkende blandet mellem Sivene, saaledes at vi de fleste Steder har disse to Samfund voksende sammen. *Polygonum amphibium* har jeg ikke bemærket i Søen; men derimod har de tre øvrige Arter *Nymphæa alba*, *Nuphar luteum* og *Potamogeton natans* stor Udbredelse.

Blandt *Potamogeton*-Associationens Arter danner *Potamogeton lucens* navnlig paa Nordkysten et smalt Bælte umiddelbart udenfor Sivbæltet, men dens Udbredelse er ellers i det hele ikke stor. I det samme Bælte forekommer ligeledes:

*Batrachium circinnatum*

*Potamogeton pectinatus*

— *perfoliatus*.

*Potamogeton crispus* vokser derimod væsentlig paa den »Tærskel« med lavt Vand, der forbinder Nord- og Sydkysten i den vestlige Del af Søen.

De helt submerse Linnæers Association er udelukkende repræsenteret af *Fontinalis antipyretica*, som dog ikke synes at være meget udbredt. Jeg har fundet den i 2½—6½ m Dybde.

Af Hydrochariternes Samfund har jeg fundet 3, nemlig:

*Ceratophyllum demersum*

*Utricularia* sp.

*Myriophyllum spicatum*.



Af disse har kun *Ceratophyllum* en lidt større Udbredelse, især paa »Tærskelen« sammen med *Potamogeton crispus*.

Den samlede Artsliste for Farum Sø med Angivelse af Dybde:

|                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| <i>Batrachium circinnatum</i> .....  | 1—2 m                              |
| <i>Carex rostrata</i> .....          | 0— $\frac{1}{2}$ -                 |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> .....  | 4—7 -                              |
| <i>Equisetum limosum</i> .....       | 0— $\frac{1}{2}$ -                 |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> ..... | 2 $\frac{1}{2}$ —6 $\frac{1}{2}$ - |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> .....   | 2 -                                |
| <i>Nuphar luteum</i> .....           | 1—1 $\frac{1}{2}$ -                |
| <i>Nymphaea alba</i> .....           | 1—2 -                              |
| <i>Phragmites communis</i> .....     | 0—2 -                              |
| <i>Potamogeton crispus</i> .....     | 1 $\frac{1}{2}$ —4 -               |
| — <i>lucens</i> .....                | 1—2 -                              |
| — <i>natans</i> .....                | 1—1 $\frac{1}{2}$ -                |
| — <i>pectinatus</i> .....            | 2—2 $\frac{1}{2}$ -                |
| — <i>perfoliatus</i> .....           | 2 -                                |
| <i>Scirpus lacuster</i> .....        | 0—2 -                              |
| <i>Typha angustifolia</i> .....      | 0—2 -                              |
| <i>Utricularia</i> sp.....           | 2 -                                |

### 3. Bagsværd Sø.

Kort V.B.

Undersøgelsen af denne Sø foregik paa to Tidspunkter, nemlig 1ste Del i Juli 1911, hvor hele Kystbæltet opmaalttes ved Hjælp af 100 m-Linen. Linerne lagdes paa Bagsværd Sø temmelig tæt ved hinanden med ca. 100—200 m Afstand, og langs hele Kysten undtagen en Del af Nordkysten, hvor Vegetationen mange Steder mangler helt, eller i hvert Fald er ganske forandret ved Menneskets Indgreb udfor de mange Villahaver. 2den Del af Undersøgelsen foregik i Juni 1912, idet da *Potamogeton*-Grupperne opmaalttes ved Sekstantmaaling. Dette var især nødvendigt af Hensyn til *Potamogeton crispus*, der kun i Forsommeren naar op til Overfladen, medens den senere synker til Bunds og ikke kan ses, især ikke i Bagsværd Sø med dens meget uklare Vand.

Søen falder efter sin Form i to Dele, en bred Del mod Øst og et smallere Parti mod Nordvest. Dens Længderetning ligger omtrent i VNV., saa at Sommerens vestlige Vinde vil have Lejlighed til at fremkalde ret stærk Bevægelse i Vandet. De Steder, der er bedst beskyttede, er den vestligste Ende samt Østkysten af det fremspringende Parti, hvorpaa Aldershvile Slot laa. Endvidere vil der være godt Læ inde i den Bugt, der er paa den nævnte Halvø mellem de to smaa Pynter, der rager frem mod Nord og Nordvest.

Dybden er i det hele ringe. Den største Dybde er 4 m; men langt den overvejende Del af Søen er ikke 3 m dyb.

Bunden er de fleste Steder ved Kysten nogenlunde fast, længere ude derimod i Reglen dyndet. Hængesæk findes ved Søens vestligste Ende.

De fremtrædende Planter er:

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| I. <i>Phragmites communis</i> | <i>Ceratophyllum demersum</i> |
| <i>Scirpus lacuster</i>       | <i>Altrachium circinnatum</i> |
| <i>Typha angustifolia</i>     | <i>Potamogeton lucens</i>     |
| <i>Nymphaea alba</i>          | — <i>natans</i>               |
| <i>Nuphar luteum</i>          | — <i>crispus</i>              |
| <i>Myriophyllum spicatum</i>  | <i>Polygonum amphibium</i> .  |

Foruden disse 12 Arter findes ogsaa nogle Sumplanter, der vokser ude i det klare Vand, nemlig:

- II. *Carex lasiocarpa*  
 — *rostrata*  
*Equisetum limosum*  
*Heliocharis palustris*  
*Mengyanthes trifoliata*  
*Ranunculus Flammula*,

samt nogle Vandplanter, der kun forekommer et enkelt Sted blandet mellem andre Planter:

- III. *Stratiles aloides*  
*Potamogeton zosterifolius*  
*Elodea canadensis*  
*Chara* sp.

I det hele er det altsaa faa Arter, der huses af denne Sø.

Rørsumpene danner et sammenhængende Bælte langs hele Kysten med Undtagelse af Nordkysten, hvor Planterne er fjernede ved Menneskets Indgriben. Ofte danner de enkelte Arter næsten rene Samlag, undertiden optræder blandede Bevoksninger.

Den Dybde, hvortil Rørsumpene naar ud, er i den største Del af Søen omtrent den samme, nemlig ca. 2 m.

I den vestlige Ende af Søen er Rørsumpenes Samfund smalle, 10—20 m brede eller endog næsten manglende. Dette er saa meget mere overraskende, som Dybden i dette Parti af Søen næppe overstiger 1 m. Man kunde da have ventet, at Rørsumpens Planter vilde kunne brede sig ud over hele denne Del af Søen; men det er altsaa slet ikke Tilfældet. Man ser bl. a. heraf, at Dybden af Vandet ikke er den eneste Faktor, der bestemmer, hvor langt ud Planterne kan trives.

Aarsagen til det nævnte Forhold vil jeg gerne søge i Bundens Beskaffenhed. Denne er netop i Bagsværd Søes Vestende ejendommelig. Det viser sig, at den er blød og bestaar for største Delen af sorte, gamle Plantedele, der er ufuldstændig forraadede, torveagtige. Muligvis har vi her Grunden til Sivenes daarlige Trivsel; men jeg tør dog ikke udtale noget sikkert derom.

Paa den østlige Kyst er *Scirpus* næsten eneraadende og danner et meget bredt Bælte. Kun inde langs med og til dels helt oppe paa Land træffes *Phragmites*, der til Gengæld her er meget høj og kraftig.

*Typha* forekommer paa Østkysten kun paa to Punkter, nemlig ud for de to sydligste Bugter, hvor den paa en Strækning gaar længst ud fra Kysten. Paa Lækysten ved Aldershvile er det *Typha*, der danner Sivspidserne.

Nymphæaceerne har med Forkærlighed opsøgt sig de rolige Vige paa Lækysterne. Her danner de store sammenhængende, i Reglen fuldstændig »rene« Bevoksninger. De findes mest paa ca. 2 m Vand.

Størst Udbredelse har *Nymphæa*. *Nuphar* findes kun i mindre Grupper dels sammen med *Nymphæa*'en, dels inde mellem Sivene. *Potamogeton natans* og *Polygonum amphibium* har kun ringe Udbredelse.

Den Dybde, i hvilken jeg har fundet de herhenhørende Arter, er:

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| <i>Nuphar luteum</i> .....       | ½—2 m |
| <i>Nymphæa alba</i> .....        | 1—2 - |
| <i>Potamogeton natans</i> .....  | 1 -   |
| <i>Polygonum amphibium</i> ..... | 1—2 - |

Potamogetonaceernes Association bestaar næsten alene af *Potamogeton lucens* og *P. crispus*. *P. lucens* danner kun imellem Øen og Nordkysten en større Bevoksning, men forekommer ellers spredt forskellige Steder udenfor og imellem Sivene. Den vokser i 1—2½ m Dybde.

*P. crispus* er udbredt over næsten hele Søens Vestende, voksende i større eller mindre Grupper. Dybden er 1—2½ m. I ingen af de andre Søer naar den en tilsvarende Udvikling som her.

Til denne Association hører endvidere:

|  |     |
|--|-----|
| <i>Batrachium circinnatum</i> .....    | 1 m |
| <i>Potamogeton zosterifolius</i> ..... | 1 - |

der begge kun forekommer et Par Steder.

En Ejendommelighed ved Bagsværd Sø er den næsten komplette Mangel paa de helt submerse Limnæers Association. Denne er kun repræsenteret af *Elodea canadensis* og *Chara* sp., som jeg ikke har truffet mere end to Steder, og da i Selskab med hinanden i 1 m Dybde. Begge Lokaliteter ligger tæt ved hinanden i Søens vestligste Ende.

Hydrochariternes Samfund er noget bedre udviklet. Af denne forekommer:

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| <i>Ceratophyllum demersum</i> .....  | 1—2 m |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> .....   | 1—2 - |
| <i>Stratiotes aloides</i> .....      | 1 -   |
| <i>Hydrocharis morsus ranæ</i> ..... | 1 -   |

*Myriophyllum* og *Ceratophyllum* danner i Fællesskab flere, større Bevoksninger, dog vistnok væsentlig kun i Søens vestligste Parti. *Stratiotes* forekommer derimod ligesom *Hydrocharis* kun i Søens vestligste Spids og sparsomt.

Søens Bund er paa store Strækninger ganske vegetationsløs til Trods for Vandets ringe Dybde. Grunden hertil maa sikkert søges i Søens særdeles uklare Vand, der indsuger næsten alt Lys, saa der paa blot et Par Meter Vand ganske sikkert hersker meget slette Lvsforhold.

#### 4. Lyngby Sø.

Kort VI B1 og B11.

Lyngby Sø's Areal er ikke meget større end Bastrup Sø's. Men Formen er en anden, idet Lyngby Sø er bredere, og de to Søer staar paa mange Maader som fuldstændige Modsætninger.

Opmaalingen af Lyngby Sø foretoges i Juli 1912. 100 m-Linen anvendtes paa hele Sydkysten fra Kanalen til Frederiksdal og til Mølleaens Udlob fra Soen. Iøvrigt gik Maalingen af Plantebælterne Side om Side med den bathymetriske Maaling, idet Lodskudspunkterne lagdes langs Randen af *Polamogelon*-Bevoksningerne og Sivbælterne og tillige midt inde i disse, hvor det kunde synes passende. Samtidig med at Lodskuddet toges og Stedet fikseredes af Generalstabsguiderne, noteredes de Planterarter, der voksede paa Stedet, og ved Hjælp af disse Notitser, samt smaa Skitser over Lodskudspunkternes omtrentlige Beliggenhed, kunde da Plantekortet tegnes, idet jeg stadig benyttede lagttagelser paa Stedet til Supplering.

Straks ved Undersøgelsens Begyndelse viste det sig imidlertid, at den Kystlinie, der var angivet paa det Generalstabskort, der tjente som Udgangsmateriale, ikke var overensstemmende med de nuværende Forhold paa Nordkysten af Soen, ligesom Nordøens Form og Beliggenhed heller ikke var ganske rigtig. Da Forskellen viste sig at være saa stor, anmodedes Oberst SAND om at lade foretage en Arealberegning af Soen paa det gamle og ny Kort. Det viste sig da, at i Tiden fra 1899 til 1912 var Søens Areal fra 70.0 ha. gaaet ned til 57.4. Det drejer sig dog her sikkert ikke alene om en Tilvækst. Grunden angives væsentlig at være den, at det gamle Kort fra 1899—1901 opmaalttes fra Land, medens vi foretog vore Opmaalinger fra Sosiden. Men i al Fald maatte Kystlinien rettes paa Kortet, og det gjordes ved en Række Stadiemaalinger, der foretoges paa følgende Maade. Med Baaden nærmede vi os Land saa meget som muligt paa forskellige passende Steder. Undertiden kunde vi da komme helt ind til Land, idet Mosen med en lodret Væg her grænser til Søen; andre Steder kunde Baaden ikke komme nærmere end ca. 4—5 m fra Land. Naar vi da var kommet saa langt ind som muligt, rejstes Stadiet, og Punktet fikseredes af en af Guiderne. Ved en Række saadanne Punkter fastlagdes Kystlinien, der altsaa snarere er lagt lidt for langt ud imod, end bort fra Søens Midte; dette maa ogsaa være det bedste, naar Kortet skal bruges efter sin Bestemmelse, nemlig til Studier over Søens Tilgroning.

Lyngby Sø's Dybde er i det hele ringe. Maksimum er  $4\frac{1}{2}$  m; men største Delen af Søen er kun 2—3 m dyb. Bunden er næsten overalt meget blød, dyndet, brun af Farve; den bestaar af uhyre Masser af mer eller mindre pulveriserede Plantestoffer. Største Delen af den kan vistnok betegnes med Begrebet »Dy« (v. Post). Kun langs Sydkysten og langs Jærnbandedæmningen findes fast Bund. Igennem Soen gaar Aflobet fra de andre Søer, og det er aabenbart en i Forhold til Søens egen betydelig Vandmasse, der stadig passerer derigennem. Rimeligvis medfores hermed en Del Dynd, som bundfældes i Søen.

Ingen af de andre Søer har en tilnærmelsesvis saa frodig og artsrig Vegetation, som Lyngby Sø; dette har voldet Opmaalingen og Udførelsen af Plantekortet betydelige Vanskeligheder. En anden stor Vanskelighed har det været at skelne imellem, hvilke Planter man burde regne med blandt Søens Beboere, og hvilke der bør regnes for at

tilhøre Mosen. Grænsen er ganske svævende. Den Grænse, jeg har sat, beror paa et løst Skøn, og der kan maaske indvendes meget mod den; men praktiske Grunde har nødt mig til ved Kortets Udførelse kun at optegne de Planter, jeg virkelig maatte anse for at høre til Søen, medens de tilfældige Gæster, f. Eks. i Sivbælterne nær Land, ikke medtoges.

Jeg benytter her Lejligheden til at nævne en Række Arter, der vokser lige paa Randen af Mosen og undertiden breder sig lidt ud paa ganske lavt Vand mellem Sivene:

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <i>Acorus Calamus</i>         | <i>Lastræa Thelypteris</i>    |
| <i>Alnus glutinosa</i>        | <i>Lycopus europæus</i>       |
| <i>Carex lasiocarpa</i>       | <i>Lysimachia thyrsiflora</i> |
| — <i>paniculata</i>           | <i>Mentha aquatica</i>        |
| — <i>rostrata</i>             | <i>Menyanthes trifoliata</i>  |
| — <i>stricta</i>              | <i>Peucedanum palustre</i>    |
| <i>Cicuta virosa</i>          | <i>Ranunculus Flammula</i>    |
| <i>Cladium Mariscus</i>       | <i>Sium latifolium</i>        |
| <i>Epilobium</i> sp.          | <i>Solanum dulcamara</i>      |
| <i>Eupatorium cannabinum</i>  | <i>Sparganium ramosum</i>     |
| <i>Galium palustre</i>        | — <i>simplex</i>              |
| <i>Glyceria spectabilis</i>   | <i>Spiræa ulmaria</i>         |
| <i>Heleocharis acicularis</i> | <i>Stellaria palustris</i>    |
| — <i>palustris</i>            | <i>Typha latifolia</i>        |
| <i>Iris pseudacorus.</i>      |                               |

Til Trods for, at disse mange Arter ikke medtoges, viste det sig endda nødvendigt at tegne to Kort, et der angiver de fremherskende Planters Udbredelse, og et der viser de sjældnere Arters Forekomst.

I Søen findes to større Øer, begge bevoksede med store Elletræer. Af disse har den sydlige Ø fast Bund, og fra den strækker sig et »Rev«, ligeledes med fast, gruset Bund ud imod Vest og Øst.

Den nordlige Ø synes derimod kun at bestaa af Hængesæk, omend den vel nok hviler paa en Banke af fast Bund. I hvert Fald har den faaet Tilvækst paa en særegen Maade, som lidt nærmere skal omtales (jvf. WARMING 1897 pag. 188). Hele Søens Nordkyst er begrænset af en Mosestrækning, Lyngby Mose, der næsten hele Vejen støder op til Søen med en Hængesæk. Af og til synes Stykker af denne at kunne løsne sig og drive med Vinden et Stykke ud paa Søen, hvor de ofte holdes tilbage af Planterne, saa at de efterhaanden gør fast og danner smaa Øer. Flere saadanne findes angivne paa Kortet; formentlig er Nordøen væsentlig dannet af saadanne løsrevne Stykker af Mosens Hængesæk.

De smaa Øer, der kun er højest nogle faa Metre lange og brede, bærer en meget frodig Vegetation. Jeg nævner et Par Eksempler.

1) Lille Ø i Søens vestligste Ende. Øens Længde 2 m, Brede knap 1 m. Her fandtes:

|                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| <i>Alnus glutinosa</i>  | <i>Convolvulus sepium</i>    |
| <i>Carex paniculata</i> | <i>Eupatorium cannabinum</i> |
| <i>Cladium Mariscus</i> | <i>Lycopus europæus</i>      |



*Lysimachia nummularia*— *thyrsiflora*— *vulgaris*.*Mentha aquatica**Peucedanum palustre**Phragmites communis**Scutellaria galericulata**Spiræa ulmaria**Typha latifolia*

2) Lille Ø, ca. 50 m nordøst for Nordøens Nordspids. Her fandtes:

*Cicuta virosa**Cladium Mariscus**Lycopus europæus**Lysimachia thyrsiflora**Mentha aquatica**Menyanthes trifoliata**Rumex (Hydrolapathum?)**Sparganium ramosum**Stachys paluster**Typha angustifolia*.

I den varme Sommertid ser man ofte, at der dukker smaa Øer op midt i Søen paa Steder, hvor der ellers er nogenlunde dybt Vand. Disse Øer er naturligvis uden Plantevækst, og det skyldes formentlig Dannelsen af større Luftmasser i Dyndbunden, at de opstaar. De viser sig sjælden før i Slutningen af Juli og er som oftest forsvundne før November. De opstaar altid paa et og samme Sted, hvor der i Vinterhalvaaret altid er grundt Vand (ca. 1 m). Naar de har været en Maanedstid over Vandet, dækkes de med Vandfuglenes Ekskrementer og Fiskeknogler. I Sommeren 1912 saas en saadan Ø ogsaa i Søen, og jeg har angivet dens Plads paa Kortet. Disse opdukkende Øer er tidligere omtalte af WARMING (1897 pag. 189).

Det er allerede nævnt, at Lyngby Sø har en særdeles frodig Plantevækst; et Blik paa Kortet vil vise dette ganske tydelig, idet de Arealer, der er uden Plantevækst, er indsnævrede til smalle Kanaler, der forbinder et større vestligt og østligt Parti med noget mere aabent Vand.

Rørsumpens Planter har ikke saa stor Udbredelse, som man kunde vente; det er ejendommeligt for Lyngby Sø, at de langs hele Nordkysten vokser blandede mellem Lønnærne og Hydrochariterne. Kun langs Syd- og Østkysten har man rene Bestande af Rørsumpens Arter. Blandt disse dominerer *Typha* og *Scirpus* paa Nordkysten, medens *Phragmites* og *Scirpus* er eneraadende paa Syd- og Østkysten. Paa Nordkysten fordeler Arterne sig paa den Maade, at *Typha* som oftest vokser nærmest ved Land, inderst i Bugterne. Kun undtagelsesvis indtages denne Plads af *Phragmites*. *Typha* staar gerne spredt og blandet med forskellige Arter af Hydrochariternes og Lønnærnes Samfund. Her udenfor kommer saa ofte et Bælte af *Scirpus*, især blandet med *Nymphæa* og *Nuphar*. De Arter, der danner Rørsumpens Samfund, er altsaa de sædvanlige:

*Phragmites communis**Scirpus lacustris**Typha angustifolia*, hvortil ofte kommer*Equisetum limosum*.

Men enkelte Steder blandes flere af de paa pag. 52 nævnte Arter imellem paa ganske lavt Vand, især:

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <i>Cladium Mariscus</i>       | <i>Carex lasiocarpa</i>       |
| <i>Menyanthes trifoliata</i>  | — <i>stricta</i>              |
| <i>Sparganium simplex</i>     | — <i>rostrata</i>             |
| — <i>ramosum</i>              | <i>Heleocharis acicularis</i> |
| <i>Acorus Calamus</i>         | — <i>palustris</i>            |
| <i>Lysimachia thyrsiflora</i> | <i>Typha latifolia</i> .      |

Nymphæaceernes Association er særdeles vel udviklet og falder langs Nordkysten i to Bælter, der er ret skarpt adskilte. Inderst i Bugterne er et Omraade, hvor *Nuphar* og *Potamogeton natans* er dominerende overfor *Nymphæa*, der forekommer sparsomt. Dette Omraade er det samme, som det nys nævnte, hvor *Typha* er overvejende. Her udenfor kommer gerne et Bælte med omtrent ren *Nymphæa* blandet med *Scirpus lacuster*.

Langs Sydkysten slutter de rene Nymphæaceebevoksninger sig, som det er sædvanligt, umiddelbart op til Sivbælterne.

Flere Steder i Søen, og navnlig i Vestenden, danner *Potamogeton natans* Grupper endog uden for *Potamogeton lucens*-Bæltet.

Af Nymphæaceassociationens Arter er de efterfølgende til Stede:

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| <i>Nymphæa alba</i> . . . . .        | 1—2½ m  |
| <i>Nuphar luteum</i> . . . . .       | ¾—2¼ -  |
| <i>Potamogeton natans</i> . . . . .  | ¾—3 -   |
| <i>Polygonum amphibium</i> . . . . . | 1¼—1½ - |

Blandt Potamogetonaceerne indtager *P. lucens* en meget fremtrædende Plads, idet den danner sammenhængende, meget brede og rene Bælter hele Kysten rundt og i det hele er den Plante, der har den største Udbredelse i Søen. I Sammenligning med den er de andre *Potamogeton*-Arter af underordnet Betydning. De Arter, der indgaar i Potamogetonaceernes Association er:

|   |        |
|---|--------|
| <i>Potamogeton lucens</i> . . . . .     | ¾—3½ m |
| — <i>perfoliatus</i> . . . . .          | ¾—2¾ - |
| — <i>obtusifolius</i> . . . . .         | 1¾ -   |
| — <i>crispus</i> . . . . .              | 2—3¼ - |
| <i>Batrachium circinnatum</i> . . . . . | ¾—2½ - |
| <i>Hippuris vulgaris</i> . . . . .      | ?      |

De helt submerse Limmæers Association har kun ringe Udbredelse og repræsenteres kun af:

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| <i>Elodea canadensis</i> . . . . . | 3½ m |
| <i>Chara</i> sp. . . . .           | 1½ - |

Disse to Arter har jeg kun truffet paa et Par Lokalteter. For ca. 20 Aar siden var *Elodea* en i den Grad dominerende Plante, at Dampskibsselskabet i høj Grad var ængstelig for de Udgifter, som en alm. Oprensning mulig maatte medføre. Nu er Planten her som saa mange Steder, hvor den en Tid lang truede med at standse al Færdsel, næsten forsvundet.

Derimod er Hydrochariternes Samfund af stor Betydning. Efterfølgende Arter maa henføres til dette Samfund:

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| <i>Myriophyllum spicatum</i> . . . . .   | $\frac{3}{4}$ — $2\frac{1}{2}$ m |
| — <i>verticillatum</i> . . . . .         | 2 -                              |
| <i>Stratiotes aloides</i> . . . . .      | 1—2 -                            |
| <i>Hydrocharis morsus ranæ</i> . . . . . | 2 -                              |
| <i>Utricularia vulgaris</i> . . . . .    | $\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{2}$ - |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> . . . . .  | $1\frac{3}{4}$ -                 |

Disse Arter danner næsten aldrig rene Bevoksninger, men vokser blandede mellem Linnæerne eller Rørsumpens Planter.

Deres væsentligste Omraade er den inderste Del af Vigene paa Nordkysten. Her danner *Stratiotes* ofte tætte Grupper, og enkelte Steder er *Myriophyllum verticillatum* meget talrig. *M. spicatum* findes derimod spredt i næsten alle Bælter Soen over. *Hydrocharis* er ikke meget udbredt og trives kun i de mest beskyttede Vige. *Utricularia* findes saavel flere Steder ved Nordkysten som mellem *Potamogeton lucens* ved Sydkysten.

### Om vore Søers Tillukning.

De botaniske Studier ude paa de Smaasøer, der hidtil har været Tale om, særlig Forholdene vedrørende Bagsværd og Lyngby Sø, foranlediger mig til at fremkomme med følgende Bemærkninger.

Man hører saa ofte den Udtalelse fremsat: Hvor kan det være, at én Sø lukker sig med rivende Fart, medens en anden, der ligger i Nærheden og ganske ligner den, holder sig fuldkommen aaben. Spørgsmaalet er ganske naturligt; jeg har stillet mig det selv mange Gange, men har ofte haft vanskeligt ved at besvare det. Det synes mig, som om denne Undersøgelse, naar man sammenligner de her behandlede Søer, deres Dybdeforhold, Vandets Gennemsigtighed, deres Stilling i Forhold til Sol og fremherskende Vind samt deres Plantevækst, er i Stand til at yde Bidrag til dette Spørgsmaals Besvarelse.

De Planter, der væsentligst bidrager til vore Søers Lukning, hører formentlig til Rørsumpenes Samfund, endvidere har Planter med Flydeblade, Nymphæacernes og Potamogetonaceernes Samfund en meget stor Betydning. I vore mindre, mere lavvandede Søer spiller derimod de helt submerse Planter i det hele en mere underordnet Rolle. Det har ofte slaaret mig, hvormange af disse Søer der har fuldkommen nøgen Bund; den eneste Plante, der mig bekendt her spiller en Rolle som virkelig bunddækkende, er *Fontinalis*. Characeer kan ganske mangle. Der er jo her en meget væsentlig Forskel mellem disse Smaasøer og de større Søer. De helt submerse Linnæers Formation kan jo i disse sidstnævnte paa 4—1 m danne store sammenhængende, submerse Enge, hvortil vore Smaasøer i Alm. intet Sidestykke byder. En saa frodig vegetationsklædt Slette som Store Kalven i Furesø findes vist aldrig i vore Smaasøer. Grunden hertil er formentlig den, at Lyset paa 4—6 m i Smaasøerne, hvor mærkeligt det end lyder, er langt svagere end Lyset paa 4—6 m i de større Søer. Dels er Planktonkvantiteten i førstnævnte i Sommerhalvaaret saa uhyre, dels er Bunden i vore Søer i al Almindelighed saa løs, at den ringeste Vind i lave Søer kan sætte hele Bundoverfladen tilvejs. I begge

Tilfælde ned sættes Gennemsigtheden i sidstnævnte i den Grad, at det meget vel er muligt, at her er en Grund til, at Søbunden er bleven fuldkommen bar.

Det kan ogsaa fremhæves, at Humussyrerne navnlig hen paa Efteraaret kan farve Vandet saa mørkebrunt, at Gennemsigtheden ogsaa derved ned sættes. I disse mørkebrune Mosevande kan Bunden næsten helt dækkes af *Fontinalis*; desuden kan *Ceratophyllum* forekomme.

Saa fremt Bundhøjning og Tillukning af Søen virkelig fortrinsvis foregaar ved Hjælp af disse, de inderste Plantebælter, er det klart, at førend Søbunden har højnet sig saa meget, at Vandstanden kun er ca. 4 m, vil denne Vegetation ikke kunne rykke ud over den. Litoralzonens inderste Plantesamfund gaar nemlig i vore Søer som Regel ikke ud over Dybden paa ca. 4 m. Det kritiske Punkt i disse Søers Tilgroningshistorie er det Tidspunkt, da Nymphaeaceerne og Potamogetoneernes Formationer kan rykke ud over Søbunden. Da tilfører de, og ret pludselig, Søen en bundhøjnende Faktor, hvortil den for intet Sidestykke har haft.

Bundhøjningen er nemlig tidligere ganske væsentlig foregaaet gennem Materiale, der stammede fra Plankton eller fra Bred (Detritus), endvidere fra alt det Materiale, der gennem Tilløbene er ført ud i Søerne. I saadanne smaa Søer, som det her drejer sig om, er det sidstnævnte som oftest forsvindende ringe; i store Dele af Aaret er Tilløbene endog stoppede. Ganske særlige Forhold raader i Lyngby Sø, hvor den forholdsvis store Mølleaa sender betydelige Vandmasser ud i Søen og vistnok i dennes østlige Hjørne allejrer store Mængder af Materiale, maaske største Delen af det, hvoraf den brede Lyngby Mose opbygges.

Der er dog ganske øjensynligt visse særlige Betingelser for, at de ovennævnte Plante-grupper kan rykke ud og tage Søbunden i en ca. 4 m dyb Sø i Besiddelse. Der gives Søer, der endog har ringere Dyb, men som alligevel stadig holder sig aabne, medens der er andre, der næsten samtidig med, at 4 m Dybet naas, dækkes med Vegetation. En væsentlig Betingelse for hurtig Tilgroning er Vandets større eller mindre Gennemsigthed, en anden er Orienteringen af Søens Længdeakse i Forhold til den fremherskende Vindretning. I Bagsværd Søs yderst uigennemsigtige Vand (hvid Skive forsvinder om Sommeren i en Dybde af knap  $\frac{1}{2}$  m), og i at Bagsværd Sø væsentlig er strakt i VNV.-Retning, hvorved Forholdene her er meget urolige, ser jeg Hovedgrundene til, at Søen, skønt den i Følge sin Dybde er moden til at gro til, dog stadig holder sig aaben. Hvad der om Sommeren er skudt ud af fremspringende Tunger i *Scirpus-Phragmites*-Bæltet paa Nordsiden, fejer Efteraarstormene og Foraarets brydende Is løs og transporterer det hen i den vestlige Bugt, hvor Materialet danner smaa, svømmende Øer, som senere hen fortrinsvis sonderbrydes og pulveriseres. I skarp Modsætning til Bagsværd Sø staar Lyngby Sø, ganske vist med noget mindre Dybde, men først og fremmest med det langt mere gennemsigtige Vand (1—1½ m) og sine mere rolige Forhold. Paa tværs af Søen faar de sydvestlige Vinde ikke Vej nok at trække; i Lyngby Sø er Vandet næsten altid roligt. Skyttet for alle Vinde kan Tilvæksten her foregaa langs den sydeksponerede Side, hvor Vegetationen udfolder sig til en Yppighed, hvortil kun faa Steder i vort Land viser Magen. Aar for Aar rykker Sivranden her længere mod Syd. Rhizomflager løsriver sig, strander paa den anden Side og vokser videre der. Bunden er nu højnet saa stærkt, at Planter med Flydeblade kan dække hele Søen. Naar først dette Tidspunkt

indtræder for en Sø, er der dermed tildelt Søen en bundhøjnende Faktor af eminent Betydning. Hvert Efteraar synker der fra Overfladen, naar Vegetationen gaar ned, mægtige Lag af henraadnende Materiale ned paa Søbunden. Aar for Aar højnes nu denne. Hertil kommer, at der ikke hvert Aar højnes med lige meget, men hvert Aar med mere end det forrige. Der er Tidsrum i disse Tillukningsprocesser, hvor Bundhøjningen vistnok meget vel kan foregaa med flere cm om Aaret, d. v. s. op mod en Meter i en Menneskealder. Man maa endvidere betænke, at saasnart Dybden er gaaet ned til ca.  $2\frac{1}{2}$ —3 m, rykker Rørsumpene ud over Soen. Det er at beklage, at den Tillukningsproces, der er foregaaet med Braband Sø ved Aarhus, ikke er blevet lidt nøjere studeret. I Løbet af 20 Aar har jeg med 5 Aars Mellemrum besøgt Soen og navnlig følt mig slaaet af den utrolige Fart, hvormed Rørsumpenes Samfund erobrer Soen, der nu overalt frembyder meget ringe Dybder.

Som et Moment, der bidrager til den Fart, hvormed Tillukningen foregaar, maa endnu Bundens Beskaffenhed nævnes. Der er i lave Søer med større Dybder end ca. 4 m næsten altid en graasort Slikbund, der formentlig ikke tiltaler Planterne. Søbunde af den Beskaffenhed er ofte nøgne. Planterne maa vistnok forberede Bunden til sig selv og dække disse Gytjelag med Dyaallejringer, der næsten altid findes under Mosernes Nymphæcee-Association.



# KAPITEL IV

## Furesøens Vegetationsforhold

af

Fru SEIDELIN RAUNKJÆR og cand. mag. BOYE PETERSEN

sammenstillet og forøget af

C. WESENBERG-LUND

Hertil Kort III B og IV B.

### Teknik.

Arbejdet deltes saaledes, at alle Oplysninger vedrørende Characeer skyldtes førstnævnte, alle om *Scirpus-Phragmites*-Bæltet sidstnævnte af de to Forf. Begge har leveret Bidrag til alle Vegetationsbælter udenfor denne Zone. Bidragene til *Scirpus-Phragmites*-Bæltet og de vedrørende de submerse Vegetationer er sammenarbejdet af W-L., der har tilføjet en Del af sine egne iagttagelser.

BOYE PETERSENS Opmaalinger foretoges væsentlig i Juli 1911. Søens Størrelse gjorde paa Forhaand Undersøgelsen vanskeligere; den kunde umuligt udføres med lige saa stor Nøjagtighed som i de andre Søer.

I stor Udstrækning benyttedes 100 m-Linen, men at lægge Linerne ud med 100 m Mellemrum viste sig snart at ville tage for lang Tid; dette vilde ogsaa være ganske unødvendigt, da Sivbælterne langs Kysten paa lange Strækninger er meget ensformige. Den gennemsnitlige Afstand mellem Linerne var ca. 500 m. Inde i Store Kalven indmaalttes Sivbæltets Rand paa Nordsiden ved Guidernes Hjælp ved de sædvanlige to Sigtelinier og paa samme Maade Sivranden i Bugten ved Fiskebæk.

En Mængde enkelte Punkters Vegetation fik man mere eller mindre fyldige Oplysninger om ved de Plantedele, der bragtes op med Loddet under den egentlige bathymetriske Maaling. Samtidig skrabedes jævnlig paa Bunden med en Bundskraber, og Resultaterne af disse Iagttagelser er indtegnede paa Kortet. De giver vel langt fra noget fuldstændigt Billede af Vegetationen paa de større Dybder, men er dog bedre end intet.

Om Fremgangsmaaden ved Studier over den submerse Vegetation i Furesø beretter Fru S. R. følgende:

Undersøgelsen af de dybere Partier af Furesø fandt Sted dels i 1901, 1902 og 1903, dels i 1913. De udgik fra det Ferskvandsbiologiske Laboratorium.

Under de første Ophold paa Laboratoriet i August 1901, 1902 og 1903 foretoges saavel Ekskursioner langs Strandbredden som i Robaad. Da Baaden var lille, var de sidstnævnte i høj Grad afhængige af Vind og Vejr. Undersøgelserne tog paa det Tidspunkt kun Sigte paa Characeerne, hvis Udbredelse i Store Kalven særlig af *Tolypellopsis stelligera* allerede tidligere havde vakt W-L.s Opmærksomhed. Der blev konstateret, hvilke Arter der voksede i Søen; for de fleste af dem blev der paavist adskillige Lokalteter, men en systematisk gennemført Skrabning af Søbunden kunde paa det Tidspunkt ikke finde Sted. En særlig Interesse knyttede sig til Fundet af den yderst sjældne *Chara dissoluta*, endvidere til de meget udbredte, overmaade yppige og skønne Bevoksninger af *Tolypellopsis*.

I Tilslutning til Sommerundersøgelserne over *Tolypellopsis*-Formationen i Store Kalven blev denne Lokaltet undersøgt en Gang om Maaneden et Aar igennem, dog med Undtagelse af den Tid, da Bugten var islagt.

I Tilknytning til den bathymetriske og botaniske Undersøgelse i 1911—1913 blev der i August 1913 foretaget en mere gennemført Undersøgelse af Furesøens submerse Vegetation. Arbejdet foregik denne Gang fra Motorbaad, hvad der i alle Maader lettede Undersøgelsen meget. Fangstapparaterne var dels en alm. firkantet Skraber, der samtidig anvendtes for Dyr og Planter, dels en Slags dobbeltside Rive med krummede Tænder, hvortil der var fæstnet meget fine Tænder, som skulde holde de mindste Planter tilbage. Det sidste Apparat brugtes særlig paa større Dybder. Det blev i saa Fald kun trukket ganske kort, kun nogle faa Meter langs Bunden. Dybden maalttes for og efter Skrabningen. Mellem de to saaledes fundne Dybdeangivelser var Forskellen højest ca.  $\frac{1}{2}$  m; som oftest viste Dybden sig at være den samme. Apparatet anvendtes endvidere ogsaa til saa nøjagtigt, som det med de for Haanden værende Midler var muligt, at bestemme dels Vegetationens yderste Grænser ud imod Dybet, dels Sammensætningen i de lokale Planteformationer; Skrabten derimod gav Oplysninger om, hvilke Arter der overhovedet voksede paa den dybere Del af Søbunden og om den omtrentlige Dybde, i hvilken de forskellige Arter fandtes.

Af de 31 submerse Arter, der er fundet i Søen, hører de 10 til Characeerne, der i det hele udenfor *Scirpus-Phragmites*-Bæltet er den dominerende Plantegruppe. Alle disse 10 Arter blev vel fundet i de første Aar, men det var først den mere gennemførte Undersøgelse 1913, der viste, at ogsaa de Arter var almindelige, som i 1911—1912 kun fandtes paa en eller to Lokalteter. Det er meget vel muligt, at der kan findes Arter, som er overset. Henvend  $\frac{1}{4}$  af Arterne er kun fundet en, to eller faa Gange, og andre, der er lige saa sjældne som disse, kan meget vel tænkes vokse paa Steder, hvor Skrabten ikke har været. En Paavisning af disse Planter har selvfølgelig floristisk Interesse, men i økologisk Henseende vil den ganske sikkert kun have minimal Betydning.

## Rørsumpenes Samfund.

Rørsumpenes Samfund i Furesø er væsentlig kun sammensat af to Arter: *Phragmites communis* og *Scirpus lacuster*. Det er dem alene, der danner det Bælte af »Siv«, der omkranser den egentlige større Søes Kyster. Inde i Store Kalven kommer særlig paa den nordlige Side endnu en Art til: *Typha angustifolia*; herinde spiller den en iøvrigt ret betydelig Rolle, men i den større Sø er Forholdene for urolige for den og Bunden de fleste Steder vistnok ogsaa alt for haard. Paa Bunden, delvis krybende henover *Scirpus*- og *Phragmites-Rhizomerne*, findes en Del Planter af lavere Vækst, som senere skal omtales. Ude i den egentlige Sø er *Scirpus-Phragmites-Bæltet* i det hele ret smalt, som oftest kun et Par m bredt, sjældn ca. 40 m. Mange Steder mangler det helt. *Scirpus* og *Phragmites* staar paa mange Steder blandede mellem hinanden. En nærmere



Fig. 11. Bugten mellem Laboratoriet og Frederiksdal. *Phragmites*-Bæltet er lige kommet op. Foraar. (W-L. fot.).

Undersøgelse vil dog f. Eks. langs Østkysten vise, at *Phragmites* overvejende danner den inderste Del af Zonen (se B. P. pag. 42). *Scirpus* flankerer ofte langs hele *Phragmites*-Randen denne i sluttede, lokalt begrænsede, tætte Bevoksninger. Man ser dette bedst om Efteraaret, naar den endnu grønne *Scirpus* kontrasterer med den visne rød-gule *Phragmites*-Bestand. Dette hænger sammen med, at *Scirpus*, som ovenfor nævnt, vistnok gennemgaaende foretrækker blødere Bund, endvidere med, at der udenfor *Phragmites*-Bæltet findes en submers Vegetation af *Scirpus*, hvorfra der ved lavere Vandstand kan skyde Luftsud op. Over en saadan Fornylseszone udadtil raader *Phragmites* ikke. Disse rent submers *Scirpus*-Planter findes paa mange Steder (Holme ud for Laboratoriet, Skalbankerne), hvor *Phragmites* aldrig kommer; nu og da kan de skyde et enkelt Luftsud i Vejret. En af Skalbankerne, der er en ypperlig Fiskebanke, hedder populært Bismark, fordi den Aar efter Aar havde 3 »Haar« : tre Luftsud af *Scirpus lacuster*.

Normalt er Dybden, hvortil *Scirpus-Phragmites*-Bæltet gaar ud, vistnok ikke over  $2\frac{1}{2}$  m. Hvor Kystens Heldningsvinkel er ringe, f. Eks. ud for Laboratoriet, i Bugterne etc., breder Bæltet sig langsomt udad; hvor Bunden er stejl, hvor Maksimaldybet, hvortil Bæltet kan gaa ud, ligger nær Land, er Bæltet smalt. Man ser ofte det ejendommelige Fænomen, at Bæltet først begynder et Stykke fra Land; endvidere at der ind gennem Bæltet findes aabent Vand, brede Kanaler ud imod Søen. Disse gaar gerne paa skraa imod Land. Man kunde fristes til at tro, at det væsentlig maatte være Brændingen, der maatte hindre Bæltet i at brede sig helt ind til Kysten. W-L. gør opmærksom paa, at det i langt højere Grad er Isen. Naar Isen bryder op, presses sammen og skurer op paa Land, løsriver den fra det Sted, hvor den naar Bund, alle Planter, vælter Kvadratmeter store Rhizomlagre af *Scirpus* og *Phragmites* op i lodret Stilling og fører dem som Strandvold foran sig ind mod Land. Hvad der ligger udenfor det Sted, hvor Isen tager Bund, bliver liggende. W-L. gør opmærksom paa, at da Laboratoriet for ca. 20 Aar siden opførtes, var Kysten ud for dette næsten fuldkommen nøgen; dette var ogsaa Tilfældet i de første 5 Aar; men senere hen voksede Aar for Aar *Phragmites*-Bæltet, der snart har lukket for hele Udsigten fra Laboratoriet. Det er ikke den svagere Brænding ej heller mindre Vind, der i disse Aar har fremkaldt dette Resultat, men det er de milde Vintre, i hvilke Søen enten slet ikke har været tillagt, eller i hvilke Isen har været saa tynd, at den, da den brød op, ingen eroderende Magt har haft.

Det er særlig de øst-sydøstlige Kyster, udsatte for de herskende vestlige og nord-vestlige Vinde, som frembyder Uregelmæssigheder i *Scirpus-Phragmites*-Bæltet. I Store Kalven, særlig paa Nordsiden, hvor der er Læ, og hvor Isen kun sjælden skurer ind, er Bælterne brede, indtil 280 m. Planterne vokser her anderledes frodig og naar en langt betydeligere Højde end i den øvrige Del af Søen. *Scirpus* og *Phragmites* er heller ikke mere eneraadende her; særlig *Typha angustifolia* spiller en stor Rolle og danner ofte rene Bevoksninger over store Arealer. Tæt ved Land møder os ogsaa her *Heleocharis palustris*, *H. acicularis* og *Equisetum limosum*.

Vegetationen inde under *Phragmites* og *Scirpus* er selv paa temmelig lavt Vand mer eller mindre spredt. Aarsagerne hertil er dels den ofte stenede Bund, dels Vandbevægelsen, men dog vistnok særlig Isen. Paa Steder, hvor Vandet er mere roligt og Isens eroderende Kraft sjældnere, f. Eks. Lille Kalven, er Vegetationen tæt ligesom ude paa dybere Vand; dog har Plantedækket paa de to Steder ikke ganske den samme Sammensætning.

Fru S. R. oplyser, at de to kraftige *Chara*-Arter, *C. ceratophylla* og *C. rudis*, i hvert Fald den første, synes at være de hyppigste Planter i og nærmest ved *Scirpus-Phragmites*-Bæltet. *C. ceratophylla* vokser ogsaa ganske nær øverste Vandlinie; paa noget dybere Vand optræder begge Planter ofte Side om Side, og i saa Fald er *C. rudis* som oftest rigest udviklet. Inde paa ganske lavt Vand, ofte kun dækket af faa cm. Vand, er *C. aspera* en meget hyppig forekommende Plante. I klart Solskin kan man saavel i *Scirpus-Phragmites*-Bæltet som ogsaa ude under Potamogetonerne udenfor Bæltet se visse Hypnaceer; til Tider optræder de i saadanne Masser, at Bunden helt bliver dækket af dem; som Følge deraf faar den en brun Farvetone. Af andre Planter, der kan noteres i og lige udenfor Bæltet, er *Littorella uniflora* (L.) Aesh., der er meget sjælden i Søen. Den er i visse Aar optraadt mellem Frederiksdal og Laboratoriet og var særlig i en enkelt

Vinter ret hyppig. Ellers er den kun fundet et Sted af Fru S. R. paa Søens Østside, nær Store Kalvens Munding (2—3 m).

Inde i *Scirpus-Phragmites*-Bæltet findes ogsaa alle de Planter med Flydeblade, der overhovedet findes i Søen. Paa Grund af de urolige Forhold er Nymphæaceernes Association helt krøbet ind i Rørsumpenes Bælte; den er i det Hele meget svagt udviklet og bestaar kun af to Planter: *Nuphar luteum* og *Potamogeton natans*. Begge spiller en ganske underordnet Rolle; stærkest fremtrædende er de i Store Kalven; *Nymphaea alba* er ikke paavist.

Som Eksempel paa, i hvilken Grad Isen kan ødelægge Vegetationen i *Scirpus-Phragmites*-Bæltet gør W-L. opmærksom paa følgende. Den store Sandflade foran Laboratoriet dækkes hvert Aar af lange Udløbere af *Potamogeton perfoliatus*. Fra dem skyder Masser af smaa Skud op; deres Længde overskrider næppe en decm. En Mængde ganske spæde Planter af *Myriophyllum* dækker endvidere Sandfladen. Naar Vinteren kommer, lægger Isen sig over denne unge Vegetation. Hvert Aar, naar Isen bryder op, skurer den hele Vegetationen af; Strandvolde dannede af *Potamogeton*-Skud og *Myriophyllum* opstaar. De førstnævnte dør, men *Myriophyllum*, der er kommet op med Rødderne, ligger paa de fugtige, halvraadne Dynger og vokser videre. Der opstaar da en Engdannelse en miniature af *Myriophyllum*; de tallose, smaa Planter danner et sammenhængende grønt Tæppe, som rimeligvis havde Livsbetingelser, hvis ikke Fodgængerne altid trampede det ned. Men udenfor ligger den raserede Sandflade. Tilbage af hele Vegetationen er kun de tallose lange, sorte Udløbere af *P. perfoliatus*, der krydser hverandre i alle Retninger og inddeler den hvide Sandflade i uregelmæssige Figurer.

Inden vi gaar over til at omtale de øvrige Bælter, er der formentlig Grund til at fremhæve, at hele Vegetationen udenfor *Scirpus-Phragmites*-Bæltet er fuldkommen submers. Flydeblade findes ikke; det eneste, der viser sig over Vandspejlet, er Blomsterstandene af *Potamogeton lucens*, af *Myriophyllum* samt Blomsterne af *Batrachium*. *P. perfoliatus*' Blomsterstande ligger for en meget væsentlig Del under Vand. Adskillige af de øvrige *Potamogeton*-Arter er ikke set blomstrende i Søen. Det vilde være af Interesse at faa at vide, om *Potamogeton natans*, en af vore allermindeligste Vandplanter, der af BOYE PETERSEN er paavist i *Scirpus-Phragmites*-Zonen, ikke hist og her udenfor denne skulde leve som unge Planter, der paa saadanne Lokalteter var ude af Stand til at danne Flydeblade. W-L. gør i denne Sammenhæng opmærksom paa, at Planternes Spredningsmidler, ikke alene Frø, men ogsaa Hvileknopper i betydelig Mængde findes langt udenfor Planternes Voksepladser. Saaledes er Frø af *P. lucens* og *P. perfoliatus* ikke sjældne ude over Søens største Dyb. Deres Forekomst her er ikke mærkelig, da Vandfuglenes Ekskrementer til visse Tider af Aaret næsten kun bestaar af disse Frø. Mere mærkelig er Forekomsten af Hvileknopperne af *Potamogeton perfoliatus* og *Tolypellopsis*' hvide, stjerneformede Hvileorganer, som næsten aldrig mangler i det Materiale, som Skraberne bringer op fra de større Sødybder.

En Sondring af de udenfor *Scirpus-Phragmites*-Bæltet værende Samfund er for Furesøens Vedkommende ikke vel mulig. Potamogetoneernes, de helt submerse Limnæers Association og Hydrochariternes Samfund vokser i Furesøen mellem hverandre. Mest gælder dette Store Kalven, hvis Bund er dækket af denne kombinerede Vegetation



paa en saadan Maade, at det i det store og hele har været os umuligt at finde Regler for Arternes Fordeling. Naar de enkelte Associationer omtales hver for sig, er det egentlig unaturligt, men det gøres for at lette Oversigten.

## Limnæernes Samfund.

### Potamogetoneernes Association.

Potamogetoneernes Association er i Furesøen sammensat af følgende Arter, som nævnes med Angivelse af den Dybde, hvortil de gaar ned:

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| <i>Batrachium circinnatum</i> ..... | 1—7 m    |
| <i>Potamogeton crispus</i> .....    | 7 -      |
| — <i>filiformis</i> .....           | ½ -      |
| — <i>lucens</i> .....               | 1—7 -    |
| — <i>mucronatus</i> .....           | 1,5—7 -  |
| — <i>pectinatus</i> .....           | 1,5—7 -  |
| — <i>perfoliatus</i> .....          | 1—7 -    |
| — <i>trichoides</i> .....           | 2—7 -    |
| — <i>zosterifolius</i> .....        | 3— -     |
| <i>Hippuris vulgaris</i> .....      | 2½ - 3 - |

Af de her nævnte Arter hører *P. filiformis* helt til *Scirpus-Phragmites*-Zonen og er omtalt der.

Af de øvrige spiller *Hippuris* og *P. crispus* en meget underordnet Rolle i Søen, *Hippuris* er kun paavist to Gange, den ene Gang nær Kollekølle i en Dybde af 2,5 m, *P. crispus* kun en Gang, paa Randen af Langebanken, paa ca. 7 m.

*P. zosterifolius* er kun fundet meget sparsomt et Par Steder i Store Kalven, dels ved Nordsiden, dels ved Sydsiden af Bugten. I tidligere Tid maa den have haft en langt større Udbredelse. I 1900 fandt W-L. den dækkende Skraaning af Store Kalven ned mod Dybet. Den dannede paa det Tidspunkt sammenhængende Bevoksninger paa 4—7 m's Dybde. Planten var overordentlig kraftig, meget langbladet og smuk lysegrøn. Den blev aldrig set blomstrende og aldrig oppe ved Overfladen. W-L. angiver, at Skraberens ofte var saa fuld af Planten, at den næppe kunde løftes.

Da Planten var W-L. ukendt, bragtes den til botanisk Museum, hvor Dr. OSTENFELD bestemte den.

Af de øvrige *Potamogeton*-Arter hører *P. lucens* og *P. perfoliatus* til Soens mest dominerende Planter; det er disse to, som væsentlig danner det, Fiskerne kalder for »Grøden». Det er fortrinsvis dem, der beklæder Toppen af alle Banker og viser Fiskeren, hvor Fiskebankerne er. Fiskeren paastaar — og dette er i Overensstemmelse med W-L.s iagttagelser, at »Grøden», d. v. s. *P. lucens* og *P. perfoliatus*, er meget forskelligt udviklede i de forskellige Aar. Skuddene naar gerne Overfladen i Slutningen af Mai; i Midten af Oktober gaar »Grøden» ned, d. v. s. Skuddene bøjer sig nedad i store Buer belæssede med Kalk, staar længe i denne Stilling og kan i November, December med Skraberens løftes op som en brungrøn Masse, der er overordentlig rig paa bladdestruerende Organismer. Af de to Arter er *P. perfoliatus* den, der gaar ud paa det dybeste

Vand. *P. lucens* danner i visse Aar i Størstedelen af Søen et næsten uafbrudt, men smalt Bælte udenfor Sivene. Den har vanskeligt ved at klare sig paa større Dybder, og det er derfor kun i Store Kalven, at den kan vokse i større Afstand fra *Scirpus-Phragmites*-Zonen. Normalt gaar den næppe ud over 4 m, men den er dog en enkelt Gang taget paa 7 m.

*P. perfoliatus* taaler bedre at vokse paa dybere Vand, den gaar sikkert ud til 7 m. Den danner den væsentligste Vegetation paa Bankerne midt i Søen og er vel nok Søens mest udbredte *Polamogeton*-Art. En Bastard mellem de to Arter optræder flere Steder og er navnlig hyppig i Store Kalven.

Det kan med Hensyn til de to Arter bemærkes, at *P. lucens* er en langt kraftigere og mere stiv Plante end *P. perfoliatus*. Førstnævntes Blomsterstand rager altid op over Vandet og slaas selv i Storme ikke ned under Vandspejlet. Sidstnævntes derimod har kun i Stilleperioder Blomsterstandene over Vand. Planten er ikke opret som *lucens*, men dens store Bladmasse ligger strakt hen under Vandspejlet, og Blomstringen foregaar paa dybere Vand, maaske som Regel under Vand. Den sætter herude vistnok ikke synderlig Frø. I *P. perfoliatus*' langt større Elasticitet og Evne til at kunne følge Bølgebevægelsen maa ogsaa Aarsagen søges til, at Planten klarer sig bedre ude i meget uroligt Vand end *P. lucens*. Det er i saa Henseende meget betegnende, at det kun er *perfoliatus* og slet ikke *lucens*, der har erobret Store- og Langebanken midt ude i Søen. Direkte viser ogsaa Undersøgelsen, at *P. lucens* ikke gaar saa langt ned som *P. perfoliatus*. Ved Bestemmelsen af Vegetationens yderste Grænse blev *P. lucens* kun taget 11 Gange af 52 med Skraberne og med den tosidede Rive end ikke en eneste Gang af 15. W-L. gør opmærksom paa det ejendommelige Fænomen, Søen frembyder, naar Støvet efter stille Sommerdage fra *P. lucens*-Aksene paa stille Aftener spredes med Vinden. Den lette Aftenbrise fører da Støvet som Tusinder af fine parallelt løbende Støvskyer fra de hule Blomsterblade, hvori det i Dagens Løb har samlet sig, ud over Søen. En ikke ubetydelig, men i Forhold til de to ovennævnte Arter dog underordnet Rolle spiller *P. mucronatus* og *P. trichoides*. Særlig den førstnævnte er hyppig. Under Skrabningerne er den taget ca. 30 Gange. Den er mindre rig paa Individier end de foregaaende Arter (Dybde 1,5—7 m). *P. trichoides* er fundet ca. 12 Gange; f. Eks. i Store Kalven paa Nordsiden, hvor den vokser paa 2—3 m. Den er endvidere fundet paa Langebanken. Hvileknopperne var synlige paa nogle Eksemplarer allerede 1. August 1913. (Iagttaget paa 2—7 m).

*Batrachium circinnatum* er, som det fremgaar af Kortet, en af de hyppigst forekommende Fanerogamer. Den spiller navnlig en stor Rolle paa Bankerne. Da den er det aabne Vandspejls eneste insektbestøvede Plante, trækker den i Blomstringstiden, hvor den som hvide Øer ude paa det mørke Vand er meget synlig, store Mængder af Insekter, navnlig Fluer, til sig.

#### De helt submerse Limnæers Association.

De helt submerse Limnæers Associationer er repræsenteret af følgende Typer eller

Arter:

Characeer

Mosser

*Zanichellia major*

*Elodea canadensis*.

For Characeer og Mosser vil der i det følgende blive gjort nærmere Rede. Om *Zannichellia* og *Elodea* bemærkes følgende:

*Zannichellia major* er kun fundet paa den fremspringende Pynt ved Dronninggaard paa Østsiden i en Dybde af 2—3 m.

*Elodea canadensis* er næsten lige saa hyppig som *Potamogeton perfoliatus* og har ifølge W-L.s Anskuelse i tidligere Tid været langt mere dominerende. Den lever baade paa lavt og dybt Vand (1—7,5 m). W-L. angiver, at han ofte langt udenfor Vegetationszonen paa 15—17 m finder løse Skud af *Elodea*. Inde i Store Kalven paa indtil 2 m Vand danner efter W-L. Planten i Efteraaret sine vinterknopplignende, tæt trængte Skud, medens saadanne ikke findes om Vinteren paa Planten fra 7 m. Den har her hele Vinteren en meget smuk, lysegrøn Farve.

Til denne Association maa maaske endnu føjes den ikke ubetydelige Bestand af *Scirpus lacuster*, som vokser udenfor det egentlige *Scirpus-Phragmites*-Bælte, og hvis Planter kun bestaar af linieformede, submerse Blade. Under denne Form kan Planten træffes helt ud til 7 m. Paa de dybeste Pladser drejer det sig maaske dog om løsrevne Planter.

### Hydrochariternes Samfund.<sup>1)</sup>

Hydrochariternes Samfund bestaar i Furesø udelukkende af submerse Arter. *Hydrocharis morsus ranæ* har jeg ikke set i Furesø, men den er muligvis overset. Til dette Samfund maa følgende Arter regnes:

*Ceratophyllum demersum*

*Myriophyllum spicatum*

*Stratiotes aloides*

*Utricularia* sp.

Af disse Arter har kun de to førstnævnte større Udbredelse. Begge findes især i Store Kalven og paa Storebanke midt i Søen. Om *Ceratophyllum* meddeler W-L., at den endnu i Januar 1916 paa ca. 5 m herude var i fuld Vigueur, samt at Hvileknopdannelse paa dette Tidspunkt her ikke fandtes. Efter stærke Storme i Vinterhalvaaret skyller den ofte op paa Kysten. Heller ikke da viser disse Planter de Hvileknopper, der ellers er saa karakteristiske i talrige mindre Vande. Dybde 2—7 m. *Myriophyllum spicatum*, der hvert Aar kommer til Blomstring i Store Kalven, synes heller ikke, i hvert Fald paa dybere Vand, at danne Turioner. Vinterens Opskyldsynger, der for en meget væsentlig Del bestaar af *Myriophyllum*, har ingen Turioner, og Planterne ser ganske ud som om Sommeren (W-L.) *Stratiotes aloides* er ikke fundet udenfor Store Kalven. Den optræder særlig i Bugtens inderste Dele og gaar næppe ud over 3 m Dybde. Den menes paa denne Lokalitet Aar ud og Aar ind at ligge forankret paa Søbunden og synes ikke at komme til Blomstring.

*Utricularia* sp. er kun fundet i Store Kalven, i Bugten ved Farum og i Bugten mellem Frederiksdal og Laboratoriet. Den spiller en ganske underordnet Rolle i Søen. Dybde  $\frac{1}{2}$ —2 m.

<sup>1)</sup> Betegnelsen Megaplankton er formentlig uheldig; de herhen hørende Arter forekommer som Regel ikke i den pelagiske Region; de er overvejende eller udelukkende Litoralforme, de findes enten flydende i Overfladen eller hvilende med de henraadende Dele paa Bunden. (W-L.)

## Statistiske Undersøgelser.

Paa nogle Steder langs Vestkysten blev Vegetationen undersøgt statistisk efter RAUNKJERS Methode (1908). Det følger dog af sig selv, at Methoden, der hidtil kun er anvendt paa Land, naar den skal anvendes ude over den submerse Vegetation, ikke kan give helt saa eksakte Resultater. I Alm. synes det, som om den tosidede Rive faar Fat paa alle Planterne; nu og da kan vel nok en og anden gaa tabt. Den første Lokalitet (Tab. A), der undersøgtes paa denne Maade, ligger ikke langt fra Frederiksdal, mod Vest; den er til en vis Grad udsat for Bølgebevægelsen, Dybden er 3 m (23/VII). Undersøgelsen viste en *Characee-Potamogeton*-Association, hvor 7 Arter af Characeer og 4 *Potamogeton*-Arter gror Side om Side, uden at nogle af disse 11 Arter tydelig dominerer over de andre. Kun i en af Prøverne blev der fundet en Mos-Art. Ialt blev der taget 25 Prøver.

### A.

|                                      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | I alt |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| <i>Amblystegium Sendtneri</i> .....  | x | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 1     |
| <i>Tolytelopsis stelligera</i> ..... | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | x  | x  | x  | x  | x  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | 6     |
| <i>Chara dissoluta</i> .....         | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | x  | x  | .  | x  | x  | x  | x  | x  | .  | .  | .  | 7     |
| — <i>ceratophylla</i> .....          | x | x | x | x | x | . | . | x | . | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | 8     |
| — <i>jubata</i> .....                | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | x  | x  | x  | 5     |
| — <i>contraria</i> .....             | x | x | . | . | . | . | . | x | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | x  | x  | 6     |
| — <i>rudis</i> .....                 | x | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | x  | .  | .  | 4     |
| — <i>fragilis</i> .....              | x | . | x | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | x  | .  | .  | x  | 5     |
| <i>Potamogeton lucens</i> .....      | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | x  | .  | x  | x  | .  | x  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 5     |
| — <i>perfoliatus</i> .....           | . | . | . | . | . | . | . | x | x | x  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 4     |
| — <i>mucronatus</i> .....            | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 1     |
| — <i>pectinatus</i> .....            | x | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | 2     |

Den næste Lokalitet for statistisk Undersøgelse (Tab. B) er beliggende i Kollekolle-Bugten, ligeledes paa Vestsiden. Dybde 3—3,5 m (17/VII). Vi har her at gøre med en *Chara rudis*-, *Chara ceratophylla*-, *Hypnacee*-Association. I Tabellen er Mosserne med Undtagelse af *Fontinalis* slaaede sammen som *Hypnacee*; de blev nemlig ved Indsam-

### B.

|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | I alt |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| <i>Fontinalis antipyretica</i> .....     | . | . | . | . | . | x | . | x | x | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 3     |
| <i>Hypnacee</i> .....                    | x | x | x | x | x | . | . | x | x | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | .  | 18    |
| <i>Tolytelopsis stelligera</i> .....     | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | 2     |
| <i>Chara dissoluta</i> .....             | x | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 1     |
| — <i>ceratophylla</i> .....              | x | . | x | . | . | x | . | x | x | .  | x  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | 8     |
| — <i>contraria</i> .....                 | x | x | x | x | . | . | . | x | . | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | 7     |
| — <i>rudis</i> .....                     | x | x | x | x | x | x | . | x | x | x  | x  | x  | x  | x  | x  | .  | x  | x  | .  | x  | 17    |
| — <i>fragilis</i> .....                  | . | x | . | . | . | . | . | . | . | x  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 3     |
| <i>Potamogeton pectinatus</i> .....      | x | . | x | x | . | . | . | . | . | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | 5     |
| <i>Scirpus lacuster</i> Kimplanter ..... | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | x  | x  | .  | x  | .  | .  | .  | 3     |

lingen ikke holdt ude fra hverandre, og senere hen kunde det ikke afgøres, om der havde været en, to eller tre Arter i den enkelte Prøve.

Sammen med dem levede 4 andre *Characee*-Arter; desuden *Potamogeton pectinatus*, Kimplanter af *Scirpus lacustris* samt *Fontinalis antipyretica*.

Nær det Sted, hvor den første statistiske Prøve (Tab. A) blev foretaget, udførtes en anden statistisk Undersøgelse, men i en større Dybde, paa 4—5 m (Tab. C). Her var Vegetationen en *Tolypellopsis*- *Chara dissoluta*- *Chara fragilis*-Formation. Netop disse Arter følges paa mange Steder ad; særlig de to første er næsten uadskillelige, men *Tolypellopsis* er her som saa ofte ellers dominerende i Forhold til alle andre. Fem andre *Characeer*, mellem hvilke *Chara jubata* er særlig almindelig, fire *Potamogeton*-Arter og tre Mosarter gror sammen med dem. Der blev taget 20 Prøver.

C.

|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | I alt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| <i>Fontinalis antipyretica</i> . . . . .  | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 1     |
| <i>Amblystegium Kneiffi</i> (?) . . . . . | . | . | . | x | . | . | . | . | . | x  | x  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | x  | 5     |
| <i>Hypnum scorpioides</i> . . . . .       | . | . | . | . | . | . | x | . | . | x  | x  | .  | .  | x  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | 5     |
| <i>Nitella</i> sp. . . . .                | . | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | 1     |
| <i>Tolypellopsis stelligera</i> . . . . . | x | x | x | x | x | y | . | . | . | x  | x  | x  | .  | x  | .  | .  | .  | x  | .  | .  | 11    |
| <i>Chara dissoluta</i> . . . . .          | x | x | x | x | x | x | . | x | x | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | x  | .  | .  | 11    |
| — <i>ceratophylla</i> . . . . .           | . | x | x | . | . | . | . | . | . | x  | .  | .  | .  | x  | x  | x  | .  | .  | .  | .  | 6     |
| — <i>jubata</i> . . . . .                 | x | x | x | x | . | x | . | x | . | x  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | x  | .  | 9     |
| — <i>contraria</i> . . . . .              | x | . | . | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 1     |
| — <i>rudis</i> . . . . .                  | . | . | . | . | . | x | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 1     |
| — <i>fragilis</i> . . . . .               | . | . | . | x | . | x | . | . | . | x  | x  | .  | .  | .  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | 10    |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> . . . . .  | . | . | x | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 1     |
| — <i>pectinatus</i> . . . . .             | . | . | . | . | x | . | . | . | . | .  | .  | .  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 2     |
| <i>Elodea canadensis</i> . . . . .        | . | . | x | x | . | . | x | . | . | .  | .  | .  | .  | x  | x  | .  | .  | .  | .  | .  | 5     |
| <i>Batrachium circinnatum</i> . . . . .   | . | . | x | . | . | . | . | . | . | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | .  | 1     |

Vegetationen paa 4—5 m (Tab. C) paa Vestsiden er artrigere end den paa 3 m (Tab. A) tæt ved, ligesom den ogsaa er artrigere end den paa den anden Lokalitet (Tab. B). Den indeholder flere Planter end begge de andre, og de synes at gro tættere. Baae i A og B var Skraberne (B 7 og A 5 og 7) henholdsvis en og to Gange fuldstændig tom, da den kom op. Dette var aldrig Tilfældet paa Lokaliteten paa 4—5 m.

### Vegetationszonens Ydergrænser og Planternes Udseende her.

Til Undersøgelsen af Vegetationszonens Ydergrænser anvendtes især den dobbeltsidede Rive (se pag. 59). Undersøgelserne, anstillede i forskellige Dele af Soen, gav følgende Resultater:

I en Dybde af 6,5—7,5 m blev Riven sænket ned 35 Gange. I ikke mindre end 23 Tilfælde fandtes Planter overhovedet ikke. *Tolypellopsis* optraadte i 9 af Prøverne.



*Chara fragilis* og *Elodea canadensis* i 3; *Nitella* og *Batrachium circinnatum* i 2 og de øvrige Arter hver i en Prove. Hvormange Gange *Nostoc* fandtes, er ikke angivet. De 12 Arter, der findes paa 6,5—7 m, altsaa ved Vegetationens Ydergrænse, er følgende:

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <i>Nostoc pruniforme</i>        | <i>Fontinalis antipyretica</i>                     |
| <i>Nitella</i> sp.              | <i>Amblystegium Sendtneri</i> el <i>A. Kneiffi</i> |
| <i>Tolypellopsis stelligera</i> | <i>Potamogeton mucronatus</i>                      |
| <i>Chara dissoluta</i>          | — <i>pectinatus</i>                                |
| — <i>jubata</i>                 | <i>Elodea canadensis</i>                           |
| — <i>fragilis</i>               | <i>Batrachium circinnatum</i> .                    |

Vegetationen synes at standse ganske pludselig; thi paa 8 m er der overhovedet aldrig kommet Planter op med Riven. Dette er Resultatet af 14 Skrabninger med Riven i forskellige Dele af Søen. Med Skraberen derimod er der i faa Tilfælde kommet Smaastumper af *Tolypellopsis* og andre Arter op endnu i 8—13 m's Dybde; men det er vel tvivlsomt, om de har vokset der.

Det maa vel dog anses for sandsynligt, at i hvert Fald *Nostoc* og mulig andre Arter kan leve i noget større Dybder. W-L. gør saaledes opmærksom paa, at Muslingskallerne helt ud til 12 m ikke sjælden bærer Duske af *Cladophora*. Man kan maaske nok ligesom BRAND for Starnbergersøens Vedkommende tale om et *Cladophora*-Bælte (Grundalgenzone), som der skal gaa ud til 20 m, men som iøvrigt os bekendt næppe er fundet i nogen anden Sø. Men *Cladophora*'erne er i hvert Fald ganske knyttet til Muslingskallerne. Duskene er lave, næppe over faa cm høje. Noje afhængige af Substratet forekommer de kun pletvis, og om sammenhængende Bevoksninger er der i hvert Fald ikke Tale. Forholdet synes at være det samme som i Bodensø, hvor BAUMAN (1911 p. 62) angiver dem fra 18 m.

Det synes i det hele, som om det er paa 4,5—5 m, at Vegetationen naar sin største Udvikling; her kan normalt opstaa tætte, sammenhængende Bevoksninger, smalle, hvor Kysten falder stejlt af, brede englignende, hvor Faldet er svagt eller yderst svagt hældende.

Hovedformerne er Characeer, først og fremmest *Tolypellopsis*, fremdeles flere Arter af *Potamogeton* sammen med 4—5 andre Fanerogamer, endvidere Mosser.

Udenfor den angivne Dybde tager Artrigdommen af. Paa 4,5—5 m fandtes 22—23 Arter, paa 5,5—6 var Antallet gaaet ned til 15 og paa 6,5—7 til 12. Det angivne Resultat er baseret paa henholdsvis 36 Skrabninger med Riven paa 4,5—5 m, 44 paa 5,5—6 og 35 paa 6,5—7,5. Det Antal Arter, der toges med Riven paa 4 m er ikke omtalt; her blev Apparatet nemlig kun i mindre Grad benyttet. Det brugtes jo kun, hvor det gjaldt om at finde Vegetationens yderste Rand.

Dybden, hvortil Vegetationen gaar ned, varierer altsaa fra 5 til 7,5 m i forskellige Dele af Søen (se Kortet). Nær Aasevang paa Vestsiden var den dog kun 4,5 og endnu ringere paa den modsatte Side ud for Herregaarden Aagesholm. En Kloak, der udmundede tæt ved, er muligvis Grund til Manglen paa Vegetation. Fra 6,5 m til 4 m fandtes her kun døde Planter, fra 4—2 m lidt levende *Batrachium* og *Elodea*.

Paa 2 m var *Batrachium circinnatum* i yppig Vækst. Ogsaa *Potamogeton lucens* kan iagttages her, men den naar ikke Vandspejlet (5/VIII). Paa Brændingskysterne, f. Eks. dels ud for det biologiske Laboratorium, dels ud for Frederiksdal, har Vegetationen paa de sandede Kyster i en Dybde af 1 m et mærkeligt Præg (se pag. 62).

En Sammenligning mellem de dominerende Planter paa dybere og lavere Vand viser, at de kraftige Arter af *Potamogeton*, *P. lucens* og *perfoliatus*, ganske særlig førstnævnte, er hyppigst paa mindre dybt Vand, medens de spinklere Former med smalle Blade, *P. mucronatus* og *trichoides*, er almindeligere paa de større Dybder. Dog maa det erindres, at *P. pectinatus*, som er en ret spinkel, om end stiv Plante, og hvis Blade er smalle, findes inde paa lavt Vand. En ganske lignende Regel synes ogsaa at gælde Characeerne. De kraftige Arter, *C. ceratophylla* og *C. rudis*, hører fortrinsvis mindre dybt Vand til, det samme er ogsaa Tilfældet med den lille, men stive *C. aspera*. Paa den anden Side vokser *jubata*, *Tolypellopsis*-Arterne og *Nitella* paa dybere Vand. *C. contraria* og *C. fragilis* findes baade paa dybt og paa lavt Vand. Af større Interesse end Forskellen i Styrke og Robusthed er Forskellen i Stammens Konstruktion. De Arter, der er hyppigst paa dybere Vand, mangler Cortex (*Tolypellopsis*, *Nitella*-Arter), eller Cortex er kun svagt udviklet (*C. dissoluta*), kun hveranden Cortexrække til Stede, eller næsten ingen Cortex overhovedet. Hos *C. jubata*, *C. contraria*, *C. fragilis* findes vel en Cortex; den er komplet, men saa tynd, at Plantens Overflade ligner *Nitella*'s; herfra undtages dog de kraftigere Former af *C. fragilis*. Stammen mangler Torne, har kun Papiller, hvorimod Arterne fra mindre dybt Vand er forsynede med Torne og fremtrædende Cortexceller, *Chara aspera* dog kun med Torne.

I den følgende Tabel er angivet Minimal- og Maksimaldybden for de fleste udenfor *Scirpus-Phragmites*-Bæltet omtalte Planter:

*Nostoc*

*Cladophora*

|   |             |
|---|-------------|
| <i>Nitella</i> <sup>2</sup> <i>syncarpa</i> (Thuill) Kütz . . . . . | 3—8 m       |
| — <i>opaca</i> Ag. . . . .  | c. 4 -      |
| <i>Tolypellopsis stelligera</i> (Bauer) Migula ..                   | 1,5—8 -     |
| <i>Chara dissoluta</i> A. Br. . . . .                               | 1,5—8 -     |
| — <i>ceratophylla</i> Wallr . . . . .                               | c. 0,05—7 - |
| — <i>jubata</i> A. Br. . . . .                                      | 3—7 -       |
| — <i>contraria</i> A. Br. . . . .                                   | 1—7 -       |
| — <i>rudis</i> A. Br. . . . .                                       | 1—7 -       |
| — <i>aspera</i> (Dethard) Willdenow . . . . .                       | c. 0,05—3 - |
| — <i>fragilis</i> Desvaux . . . . .                                 | 1,5—7 -     |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> L. . . . .                           |             |
| — <i>Kindbergii</i> Ren. & Cordot. . . . .                          |             |
| <i>Hypnum scorpioides</i> L. f. <i>longicuspis</i> . . . . .        |             |
| <i>Amblystegium Sendtneri</i> Schimp. . . . .                       | ?—7 -       |
| — <i>Kneiffii</i> Br. eur. . . . .                                  |             |
| <i>Potamogeton lucens</i> L. . . . .                                | 2,5—7 -     |
| — <i>filiformis</i> Pers. . . . .                                   |             |

|   |         |
|---|---------|
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> L. ....          | 1—7 m   |
| — <i>crispus</i> L. ....                        |         |
| — <i>mucronatus</i> Schrad. ....                | 1,5—7 - |
| — <i>trichoides</i> Cham & Schlecht. ....       | 2—7 -   |
| — <i>pectinatus</i> L. ....                     | 1,5—7 - |
| — <i>zosterifolius</i> Schum. ....              | 3 -     |
| <i>Zannichellia major</i> Boehm. ....           | 2,5 -   |
| <i>Elodea canadensis</i> Rich. ....             | 1—7,5 - |
| <i>Scirpus lacuster</i> L. (submerse Blade) ... | 2,5—7 - |
| <i>Stratiotes aloides</i> L. ....               |         |
| <i>Batrachium circinnatum</i> (Sibth.) Fr. .... | 1,5—7 - |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> L. ....           | 2—7 -   |
| <i>Myriophyllum</i> sp. ....                    | 2—7 -   |
| <i>Hippuris vulgaris</i> L. ....                | 2,5—3 - |
| <i>Utricularia</i> sp. ....                     | 2—8 -   |
| <i>Littorella uniflora</i> (L.) Asch. ....      | 2,5 -   |

### Vegetationen i Store- og Lillekalv og paa Bankerne.

En særlig Interesse knytter sig til de tre Lokalteter Store Kalv, Lille Kalv og Bankerne midt i Søen: Storebanke og Langebanke. Disse Steder er derfor blevet ganske særlig undersøgt.

Intet Steds i Furesø er Vegetationen rigere end i Store Kalven. Indrandet af sit ovenfor omtalte brede *Scirpus-Phragmites*-Bælte ligger paa en Dybde af 3—4 m Bugtens store, undersøiske Slette; i Sommerhalvaaret er den dækket af et mægtigt, næsten uafbrudt Plantetæppe. En Efteraarsdag efter en længere Stilleperiode er en Baadfart henover Bugten for enhver Naturelsker, men mest for Botanikeren, en sjælden Nydelse. Gennem det klare Vand ser man tydeligere Plantedækkets enkelte Komponenter. Næsten alle Søens Plantearter, Fanerogamer saavel som Kryptogamer, vokser her. Den eneste Art, der ikke er fundet i Store Kalven, er *Chara jubata*. Ikke alene er Vegetationen her i Kalven saa mærkelig rig, men Individierne selv er kraftige og prægtigt udviklede.

Om en Bæltedannelse er der, saavidt vi hidtil har kunnet se, egentlig ikke Tale. Grunden hertil er vel nok den, at Dybden næsten overalt er den samme. Dog kan man vistnok fremhæve, at *Stratiotes*, der ikke er fundet udenfor Store Kalven, er alm. i Bugtens inderste Del, men næppe gaar ud over 3 m, og at Kalven udad mod Dybet paa Skraaningen nedad mod denne ender med en mægtig, fuldkommen ensartet, *Tolypellopsis*-Bevoksning, der paa klare Solskinsdage som et eneste lysegrønt Tæppe er synligt gennem Vandspejlet. Iøvrigt er over hele Store Kalven *Tolypellopsis* den dominerende Plante. Dens lysegrønne Bevoksninger brydes nu og da af store, ofte pudeformede, mere i det rødlig faldende Partier af *Chara ceratophylla*; ogsaa *Nitella*, baade *N. syncarpa* og den mere robuste *N. opaca*, vokser over store Strækninger. *Chara dissoluta* er hyppig. *Chara contraria* og *fragilis* optræder hist og her mellem de dominerende Arter. Inde paa noget lavere Vand dominerer *C. aspera* og *rudis*, skønt den sidste ogsaa kan leve ude paa større Dybder. Gennem disse frodige, snart tæppe-, snart pudeformede Bevoksninger af *Chara*-



En anden Sammensætning af et *Tolypellopsis*-Samfund, kun endnu mere ren, findes tæt ved, Øst for den første Plads, paa en Dybde af 3,5 m. *Potamogeton lucens* er her næsten *Tolypellopsis*' eneste Ledsager. Ovenfra er *Potamogeton* langt den mest synlige. 25 Prøver.

## E.

|                                       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | I alt |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| <i>Tolypellopsis stelligera</i> ..... | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | 24    |
| <i>Chara ceratophylla</i> .....       | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | x  | -  | -  | -  | -  | 1     |
| <i>Potamogeton lucens</i> .....       | x | x | - | - | - | x | x | - | - | x  | -  | -  | x  | x  | -  | x  | x  | -  | x  | x  | -  | -  | -  | x  | -  | 12    |
| <i>Elodea canadensis</i> .....        | - | - | - | - | x | - | - | - | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 1     |

I den indre Del af Bugten, men paa samme Dybde, bestaar Vegetationen af *Chara ceratophylla* og *Chara rudis*, den sidste dominerende; nærmere ved *Scirpus-Phragmites*-Bæltet vokser *Fontinalis antipyretica* og *Potamogeton perfoliatus* sammen med dem. Hen imod Øst, i en Dybde af ca. 2 m danner *Chara aspera* i tynde Eksemplarer et tæt Tæppe sammen med *Ceratophyllum*, *Fontinalis antipyretica*, *Hypnum scorpioides*, *Potamogeton pectinatus* og *Batrachium circinnatum*.

Bankerne. De to Banker midt i Søen, Storebanken og Langebanken, karakteriseres ved næsten ganske at mangle Characeer. Kun *C. fragilis* er taget en Gang paa Randen af Langebanken; endvidere smaa Stumper, der muligvis stammer fra *Nitella* eller *Tolypellopsis*. Ved Randen af Storebanken er Dybet 22—11 m; her findes ingen Planter; paa 15—13 m Smaastumper af *Elodea*, *Ceratophyllum* og *Tolypellopsis*(?); efter al Sandsynlighed lever de dog ikke paa disse Dybder, der er meget større end dem, hvor paa Vegetationen ellers findes i Søen. I en Dybde af 5 m, altsaa paa Toppen af Banken, fandtes følgende Planter:

*Potamogeton lucens*  
 — *perfoliatus*  
 — *pectinatus*  
*Elodea canadensis*  
*Batrachium circinnatum*  
*Ceratophyllum demersum*  
*Myriophyllum* sp. (*spicatum*?)

Skrabninger paa Langebanken paa en Dybde af 5—5,5 m, 7—7 m og 3,5—7 m gav de samme Planter, som paa Storebanken; kun manglede *P. pectinatus*. Til Gengæld var her *P. crispus*, kun fundet to Gange i Søen, samt *P. mucronatus* og *P. trichoides*.

At de skrobelige Arter af Characeer, som andet Steds normalt findes paa tilsvarende Dybder, ikke kan klare sig her paa Bankerne, synes intet Under. Med de robuste Arter af *Potamogeton*, og de mærkverdige kraftige Individer af *Batrachium*, *Ceratophyllum* og *Myriophyllum*, som her tilsammen danner en ualmindelig yppig Vegetation, kan Characeerne sandsynligvis ikke tage Kampen op. Paa *Batrachium* maalttes Stængelled paa 17 cm.



## Furesøens Characeeflora sammenlignet med Udlandets Søers.

Som bekendt har Vandplanter i Almindelighed en stor geografisk Udbredelse. Sandsynligvis vil mange Søer frembyde næsten den samme Artsliste som Furesø. Vi vil som Eksempel sammenligne Furesøens Characeeflora med Bodensøens, undersøgt af C. SCHRÖTER (1902) og senere af hans Elev BAUMANN (1911); SCHRÖTERS Liste over denne Gruppe er følgende:

- 1) *Chara ceralophylla* Wallr.
- 2) — *contraria* A. Br.
- 3) — *contraria* A. Br. var. *papillosa*
- 3) — *aspera* Willd. var. *incrustata*
- 4) — *dissoluta* A. Br.
- 5) — *rudis* A. Br.
- 6) *Nitella opaca* Agardh.
- 7) — *hyalina* (DC) Ag.
- 8) — *syncarpa* Kützinger.

Ved at sammenligne denne Liste med vor vil vi se, at 7 Arter er fælles for begge Søer.

BAUMANN (p. 64—70) tilføjer fra den mindre Del af Bodensø, Untersee, som han har bearbejdet, følgende Arter:

*Nitella capitata* (Nees ab Es.) Ag.?

— *flexilis* (L. ex p.) Ag.?

*Tolypella* sp.

*Chara stelligera* (= *Tolypellopsis stelligera* [Bauer] Migula).

»Neu für das Gebiet und die Schweiz«.

*Chara dissoluta* A. Br.

»Neu für das Gebiet und die Schweiz«.

*Chara foetida* A. Br.

— *hispida* L.

— *delicatula* Agardh. (betragtes ofte som Varietet af *Ch. fragilis*)

— *intermedia* A. Br.

Kun een Art, *Nitella hyalina*, er funden i den større Del af Bodensee (SCHRÖTER & KIRCHNER p. 8) og ikke i Furesø; som det ses af BAUMANN'S Liste, indeholder denne flere Arter, der ikke er taget i Furesø (p. 64—70), men en Sammenligning med den maa foretages med Forsigtighed, da den omfatter ikke alene Arterne fra selve Untersee (Bodensee), men ogsaa fra Vandløb og Damme i dens Omegn.

Den eneste Characee-Art fra Furesøen, der mangler i Bodensøen, er den ejendommelige *Chara jubata*, som efter Migula (p. 426) kun er fundet i de baltiske Lande.

I Bodensee (SCHRÖTER & KIRCHNER p. 1; BAUMANN p. 476) er *Chara ceralophylla* den herskende Art, dog paa det lavere Vand som oftest *Chara aspera*. I Furesø er det *Tolypellopsis stelligera*, der hersker, ja, som er den karakteristiske Plante for Søen som Helhed, mens den er sjældnere i Bodensee. Hvis Vandet var mere gennemsigtigt, vilde vi i Furesø kunne se et bredt *Tolypellopsis*-Bælte, der strækker sig det meste af Søen rundt

og naar omtrent fra *Scirpus-Phragmites*-Zonen ud til Dybet, hvor al Vegetation hører op; indblandet i det vilde der vise sig Pletter af andre Planter. Det er paafaldende, at den skøre *Tolypellopsis* holder Pladsen de fleste Steder over for andre mere robuste Planter, mens disse kun paa mindre Strækninger, f. Eks. paa Bankerne, breder sig frodig.

### Bemærkninger til de enkelte Arter.

I det følgende skal der gives en Del Oplysninger om de enkelte Arter, væsentlig vedrørende Lokalitet, geografisk Udbredning og biologiske Forhold.

*Nostoc pruniforme*. Almindelig i forskellige Dybder. W-L. gør opmærksom paa, at den kan findes ud paa over 20 m. Fra Hald Sø har W-L. taget den paa over 30 m. Den er vel almindelig, men den spiller ikke den Rolle som i Esrom Sø, hvor Bunden paa 2—4 m næsten er brolagt med Kuglerne, som til visse Tider danner store Opskylsdynger paa Kysterne.

*Cladophora* sp. Iagttaget nogle faa Gange paa Sten, der er taget op med Skraben. Den er sikkert langt almindeligere end det fremgaar af Undersøgelserne (cfr. S. 68).

*Nitella syncarpa* (Thuill.) Kütz.(?). Da Arten kun blev fundet steril, kunde den ikke bestemmes med Sikkerhed. Den hører til Gruppen *Monarthrodactylæ (flexiles)* (Migula S. 97). Som Kendetegn angives den ejendommelige Bygning af Bladspidsen. Men dette synes ikke at være et helt godt Kendetegn, da det varierer endog paa samme Plante. Spidsen paa de fleste Blade er som paa *Nitella syncarpa* i Migula's Figur (S. 101) nemlig en lang, fortykket, hyalin Spids, let kendelig i typiske Tilfælde. Men i mange Tilfælde ligner Bladspidsen den, der findes hos andre Arter af denne Gruppe, især *N. opaca*. Endog det selysamme Skud, der bærer typiske Blade, kan have Blade af anden Form. For Øjeblikket maa Arten, der er meget almindelig i Furesø, kaldes *N. syncarpa*(?). Den vokser i Mængde paa forskellige Steder i Søen, særlig i Store Kalven og i Bugten ved Kollekolle, og optræder hyppig paa Øst- og Sydsiden. Den er fremdeles paavist paa Nordsiden, men synes her mindre hyppig.

Undersøgelserne synes ikke at konstatere, at den danner et særligt Bælte, saaledes som Tilfældet er i andre Søer. I Furesø vokser den i *Tolypellopsis*-Bæltet, hvis Yderrand, ud imod Dybet, den maaske kunde siges at danne. Begge disse Planter kræver roligt Vand, som de enten finder paa beskyttede Steder eller i Dybet. *N. syncarpa* er fundet paa 3—8 m.

*Nitella opaca* Ag.(?) Denne Art er ligeledes kun fundet steril. Den er mere robust end *N. syncarpa*. Bladet snævrer pludselig ind til en kort Spids, som ikke er fortykket (Migula Fig. 35). Heller ikke hos denne Art synes Karakteren fuldt konstant. Den er kun iagttaget i Store Kalven, hvor den i en Dybde af 4 m vokser i Mængde.

Efter MORTENSEN'S Nordostsjællands Flora (p. 78) er *Nitella flexilis* fundet ved Dronninggaard (Liebmann) og *N. syncarpa* f. *pseudoflexilis* ved Frederiksdal.

*Tolypellopsis stelligera* (Bauer) Migula er bortset fra Mosser og mindre Alger den hyppigste af alle Furesøens Planter. Den første, der fandt den, var W-L. Han har meddelt mig, at det, han først saa af Planten, var de hvide, stjerneformede Overvintringsknolde, der fandtes ude paa de større Sødybder. Disse var ham, som alle, hvem han viste dem, en komplet Gaade. Senere fandt han Stjerneerne sammenhængende

med lange Traade og blev til Slut, da Skraberens Gang gik hen over en *Tolypellopsis*-Bevoksning, i Stand til at henføre dem til denne Plante, da de i Massevis kom op hængende ved den. Senere bestemte jeg Planten; det var da en ny Art for den danske Flora. I Flora Danica (XVII 49, 1883) findes ganske vist Planten afbildet, men den var dengang ikke fundet i Danmark, men i Lefrasjø i Skaane. O. NORDSTEDT tilføjer »unico loco Scandinaviae«. Den betragtes i Almindelighed som en sjælden Art, maaske delvis fordi den foretrækker store Søer, hvis submerse Vegetation i Almindelighed ikke er blevet nøjere undersøgt. Den kendes iøvrigt fra de fleste Lande i Centraleuropa, fra Italien og fra Rusland (MIGULA). Hvor den findes, vokser den i Almindelighed ligesom i Furesø i store Mængder. Da den ingen Cortex har, ser den mest ud som en robust *Nitella*, men Ogoniets Morfologi karakteriserer den som hørende til Fam. *Characeæ*. Den formeres om Foraaret væsentlig ved Skud fra de smaa karakteristiske, stjernelignende Hibernakler, dannede fra de Dele af Stængelen, der ligger nede i Dyndet. Allerede i September begynder Grene paa nogle af Planterne at brydes af; langt flere falder af i Oktober (1903). I Aarene 1903—04, da *Tolypellopsis*-Bevoksningerne i Store Kalven undersøgte regelmæssig, var Søen islagt fra Slutningen af November til Begyndelsen af Marts. I Marts var endnu nogle Planter i Live, men til det store sammenhængende lysegrønne Plantedække kunde man paa det Tidspunkt intet se. Hvor vidt enkelte Planter kan leve over til næste Sommer, vides ikke. I 1916 var der endnu Bevoksninger i de første Dage i Jan. ude paa 5 m (W-L.). MIGULA (p. 26) skriver, at den lever 2 Aar, især paa meget dybt Vand og i milde Vintre. I hvert Fald forynges Planten ved Hjælp af »Stjernerne« eller fra nodi, som er fortykkede, og hvorfra der ligesom hos mange andre Characeer skyder Skud ud (MIGULA p. 270). Planten er dioecisk, men paa mange Steder findes kun det ene Køn. Hunplanten er aldrig fundet i Furesø, kun Hanplanter og sterile Planter. De lysebrune Antheridier findes i Tiden Juli—September (1903). Plantens Udbredningsomraade gaar fra 1,5 til 7½ m.

Paa lavere Vand er Planterne ligesom mange andre Characeer mere inkrusterede end paa dybere Vand; de ydre Dele af Stammen og Grenene har endvidere en rødlig Farve ikke ulig *Chara ceratophylla*'s. Vigtigheden af denne Art og andre Characeer som Kalkdannere er blevet omtalt af W-L. (1901 p. 56—65).

*Chara dissoluta* A. Br. Denne ret spæde Art er beslægtet med *Chara contraria*, men den afviger fra denne ved at have kun en Cortex-Række paa Stammen i Stedet for to eller ved ganske at mangle cortex; endvidere, i Folge SLUITER (p. 664), ved at have en lang og smal nucleus i Sporen. Planten er hidtil kun kendt fra Schweiz, Afrika og Italien (MIGULA p. 383, SLUITER p. 128 og 129) og England (GROVES p. 290); ca. 1900 fandt jeg nogle Stumper af Planten i Kollekolle-Bugten. Jeg var den Gang ude af Stand til at bestemme Planten, fordi jeg ikke lagde Mærke til, at den overhovedet havde Cortex, en Fejltagelse, som i tidligere Tid iøvrigt ogsaa ALEXANDER BRAUN gjorde med den afrikanske Form. Paa ovennævnte, først fundne Stykker af Planten var Cortex nemlig rudimentær eller manglede; paa det rige Materiale fra 1913 fandtes dels Cortex komplet, dels rudimentær. Professor NORDSTEDT var saa venlig at bestemme Arten for mig og gav en Del Oplysninger om den. Adskillige Gange efter det Aar, da jeg første Gang fandt Planten, søgte jeg i Kollekolle-Bugten at faa mere Materiale, men det lykkedes ikke. Først den mere gennemførte Undersøgelse 1913 skaffede mig righoldigt

Materiale, dels paa den første Findeplads, men desuden paa mange andre, der laa spredt langs alle Søens Kyster. Den er i Virkeligheden en meget hyppig forekommende Plante, men den synes ikke at vokse over store Arealer i sluttede Bestande som f. Eks. *C. jubata*. Den ledsager ofte *Tolypellopsis stelligera* og findes paa samme Dybder som den (cfr. Tab. A og C). Konsorganer forekommer ofte.

*Chara ceratophylla* Wallr. er paa mange Steder i Bæltet uden for *Scirpus-Phragmites*-Bæltet og paa en Dybde af nogle faa m den dominerende Plante. Paa større Dybder forekommer den gerne mere spredt. Udenfor Rørene vokser den fra 1,5—7 m, men den optræder ogsaa, hvor Plads findes, og ofte ganske nær Vandlinien, mellem Rørene og Stenene. Det er saaledes Tilfældet i Kollekolle-Bugten. Paa saadanne Lokaliteter er Planten naturligvis meget kort, af tæt sammentrængt Vækst, stærkt inkrusteret og uden Torne, ofte fruktificerende. Denne Vækstform er af forskellige Forfattere blevet kaldet *humilis* eller *microptila*. Saavel Han- som Hunplanter er fundet paa adskillige Steder i Søen.

Ifølge LANGE (p. 789) er Arten paavist i Furesø af LYNGBY og VAHL; ifølge MORTENSEN (p. 78) er f. *microptila* A. Br. fundet i Furesø i Mængde paa Sydostsiden.

*Chara jubata* A. Br. Denne karakteristiske og let kendelige Art er hidtil ikke fundet andetsteds i Danmark; ligesom *C. dissoluta* er den nær beslægtet med *C. contraria*. Bladene er meget korte, undertiden næppe synlige. Den blev ofte fundet paa Vest-, sjælden paa Østsiden. Adskillige Gange fandtes Kimplanter endnu med Sporen siddende paa. Forekomst 3—7 m. Arten kendes fra Tyskland, Sverige og Rusland. MIGULA (p. 426) skriver, at den hidtil kun er blevet paavist i det baltiske Omraade.

*Chara contraria* A. Br. Denne Art varierer særdeles meget baade med Hensyn til Størrelsen, fra meget spinkle Former til mere robuste, som ogsaa i anden Henseende, særlig i Antallet af Cortex-Cellerne (MIGULA p. 434); netop dette er meget ofte Tilfældet i Furesø. Den er hyppig paavist fruktificerende. Arten er almindelig i de forskellige Dele af Søen. Dybde indtil 7 Meter.

*Chara rudis* A. Br. er ligesom *Chara ceratophylla* en af de kraftigste *Chara*-Arter. Den er en nær Slægtning af *C. hispida*, fra hvilken den adskilles ved at have de sekundære Cortex-Celler fremspringende. Paa mange Steder, mest paa lavt Vand, hovedsagelig i 2—4 m's Dybde, danner den vidstrakte submerse Enge, ofte voksende sammen med *C. ceratophylla*. Det er saaledes som ovenfor omtalt Tilfældet i Lille Kalv, Store Kalv og Kollekolle-Bugten. Cortex-Cellerne er ogsaa hos denne Art variable i Antal. I Stedet for det typiske Antal, d. v. s. dobbelt saa mange som Bladene, en stor og en lille skiftevis, findes ofte to smaa skiftende med en stor. Seksualorganer findes i Alm. ikke i Furesø. Selv om den findes mindre ofte end de fleste andre Characeer, danner den dog paa Grund af sin Individrigdom en væsentlig Del af Søens Vegetation. Dybde indtil 7 m.

*Chara aspera* (Dethard) Wildenow findes ganske overvejende paa lavt Vand i Furesø. Ofte er den kun dækket med faa cm Vand. Paa nogle Steder, f. Eks. fra Hjortholm til Biologisk Laboratorium, har den sit typiske Udseende; saavel Han- som Hunplanter er til Stede. Paa andre Dele af Kysten, f. Eks. ved Kaningaarden og langs Stavnsholt-Kysten, optræder den i næsten uigenkendelig Skikkelse; det er nærmest kun ved Hjælp, af de smaa hvide, knoldformede Hibernakler, at den kan genkendes. Denne Form har

ingen Torne og ligner habituel en kort sammentrængt *Chara contraria*. Hidtil er denne Form kun fundet steril. Det er vel en lignende Form, BAUMANN (1911 p. 479) omtaler fra »den sandigen oder schlammigen Streifen der Grenzzone« i Bodensøen som en kun faa cm høj Reduktionsform af *C. aspera*. I Lille Kalven og i Store Kalven paa mindre dybt Vand er Arten lang og slank og bærer Seksual-Organer. Udenfor *Scirpus-Phragmites*-Bæltet er den ikke hyppig. Dybde 0—3 m.

*Chara fragilis* Desvaux. Foruden den typiske Form er der ogsaa truffet en meget robust Form, kraftigere end jeg nogensinde ellers har set; under denne Form er Planten hidtil kun paavist steril. En Form, der er mere slank, er ofte fundet fruktificerende. Næst efter *Tolypellopsis* er denne den hyppigst forekommende Characee i Søen; Individerigheden er dog ikke synderlig stor. Mærkelig nok er denne Art, der i Damme og andre lavvandede Partier vel er den hyppigst forekommende Characee her i Landet, i Furesø ikke paavist indenfor 1 m Kurven. Den gaar ned lige til 7 m.

*Fontinalis antipyretica* L. Den er temmelig almindelig baade paa lavere og dybere Vand. Ifølge W-L. (1900 p. 64) lever den fortrinsvis paa Dybder over 5 m og gaar sikkert ned til Vegetationens yderste Grænse. Fra Bodensø angives den helt ud til Vegetationens Ydergrænse (17 m) (BAUMANN 1911 p. 474). Ikke sjælden bringer Skraberen fra Skalbakterne ude paa 11 m Stykker af *Fontinalis* op. Nogen større Rolle spiller Planten dog næppe i Søen. Hvis dette er Reglen for vore større Søer, er der heri en stor Forskel mellem Søerne og Dammene, hvis Bund udenfor den øvrige Vegetation ofte er dækket med et eneste mægtigt Lag af *Fontinalis*. Mest gælder dette maaske stærkt humus-syreholdige Vande. Det er i saadanne vistnok den eneste Plante, der er bunddækkende. Findes den ikke, er Bunden nøgen (W-L.).

*Fontinalis Kindbergii* Ren. & Cordot. Med Hensyn til denne Art skriver Apotheker C. JENSEN, Hvalsø, til mig: »Den er en stor Sjældenhed; her i Danmark er den kun fundet paa Bornholm (ved Hammeren) af MÖNKEMEYER fra Leipzig. Muligvis hører ogsaa en Stump af en *Fontinalis* fra Gribso (Sjælland) til denne Art«. Den er i Furesø fundet ved Kollekølle, taget ved Skrabning over en Dybde paa 5,5—3,5 m. I samme Prøve fandtes ogsaa *Fontinalis antipyretica*.

*Hypnum scorpioides* L. (*Scorpidium scorpioides*). Apotheker JENSEN, Hvalsø, meddeler mig om denne Art følgende: »Furesø-Formen har udsædvanlig langspidsede Blade, længere end jeg hidtil har set det, ogsaa Ribben er meget længere«. Arten er almindelig, men ikke saa almindelig som den følgende Art. Eksempelvis forekommer den i Store Kalven, Lille Kalven, langs Østsiden nord for Laboratoriet.

*Amblystegium Sendtneri* Schimp. En af de almindeligste Arter, der overhovedet er fundet i Søen. Den optræder baade paa lavt og paa dybt Vand. Dybde 0—7 m. Den dækker ofte Bunden paa store Pletter.

*Amblystegium Kneiffii* Br. eur. er almindelig, men da den er vanskelig at holde ude fra *A. Sendtneri*, er den paa Skrabaturene vist ofte blandet sammen med denne. Det er derfor ikke let at sige, hvor almindelig den er. Den vokser paa lavt Vand og gaar i hvert Fald ud til 5 m.



## KAPITEL V

### Furesøens Molluskfauna

af

Mag. C. M. STEENBERG.

#### Indledning.

Materialet til nærværende Arbejde er samlet i de to Somre 1913 og 1914 og er suppleret med enkelte Indsamlinger i 1915 og 1916. I de to første Aar blev saa godt som alt Materialet taget ved Hjælp af Skraber, og Undersøgelserne omfattede Dybder mellem  $1\frac{1}{2}$  m og 36 m, dog saaledes at det væsentligst var Omraadet inden for 15 m, der blev undersøgt, eftersom min Opgave hovedsagelig var at bestemme Ydergrænsen for Molluskernes Udbredelse i Søen. I Sommeren 1913 foretoges Undersøgelserne sammen med Dr. WESENBERG-LUND og Fru A. SEIDELIN RAUNKLER. Der blev skrabet fra en Baad, som blev trukket af en Motorbaad; de fleste Træk gik — da der tillige skulde foretages botaniske Undersøgelser — vinkelret paa Kysten, særlig fra 3—10 m. Disse var gode ved Bestemmelsen af Artsantallet i Søen, men gav kun for en ringe Del Oplysninger om den bathymetriske Udbredelse. Jeg foretog derfor alene i Sommeren 1914 en Del Skrabninger, parallel med Kysten, hvorved det lykkedes mig at faa Ydergrænsen for de enkelte Arter ret sikkert bestemt. I 1915 og 16 suppleredes Undersøgelserne med en Del Indsamlinger paa lavt Vand og ved Bredden. Fra den dybere Del af Søen udenfor 15 m, hvorfra mine Stationer ikke var saa talrige, fik jeg Lejlighed til at gennemse et halvt Hundrede Prover, der indeholdt Pisidier, som Magister K. BARDENFLETH havde indsamlet, saaledes at jeg med større Sikkerhed kunde fastsætte Grænserne for disse Molluskers Udbredelse.

Desuden har flere Malakologer laant mig Materiale, som er samlet ved Bredderne af Søen. Især har Docent R. H. STAMM med stor Beredvillighed hjulpet mig med Materiale; saaledes er talrige af de afbildede Limnæer (mærket Fu) fra hans Samling. Alle dem, der har ydet mig Støtte med Materiale og Oplysninger vedrørende Faunaen bringer jeg herved min varmeste Tak.

---

Om Furesøens Molluskfauna foreligger der fra forrige Aarhundrede kun sparsomme Oplysninger, nogle faa Noter af MØRCH og WESTERLUND om enkelte Arters Forekomst. Aarene 1899 og 1901 bragte imidlertid 3 mere indgaaende Arbejder, der med eet Slag

skaffede Klarhed i talrige Spørgsmaal vedrørende Molluskfaunaen i Søen, nemlig: C. WESENBERG-LUND, Studier over Søalk, Bønnemalm og Sogytje i danske Indsøer (1901) og A. C. JOHANSEN, Bidrag til vore Ferskvandsmolluskers Biologi (1899) samt Om Aflejringen af Molluskernes Skaller i Indsøer og i Havet (1901). Et fjerde, mindre Arbejde af H. SELL, Beitrag zur Kenntniss der Molluskenfauna des Furesø's (1901) er udført omtrent paa samme Tid som A. C. JOHANSENS og stemmer i alt væsentligt dermed.

I det følgende skal først gives en Oversigt over Antallet af Arter (med Varieteter) i Søen, dernæst følger en Omtale af de enkelte Arters Udseende, Variation og bathymetriske Udbredelse, et Afsnit om Molluskzonerne og Skallelejringerne samt om de aflejrede Skallers Beskaffenhed. Til Slut foretages en Sammenligning mellem Molluskernes bathymetriske Udbredelse i Furesøen og i andre europæiske Søer.

Med Hensyn til Artsantallet er dette kun ringe i selve Furesøbassinet, i den aabne Del af Søen; derimod huser de mere beskyttede Bredder, de rolige Bugter og Kanalerne, der munder i Søen, talrige Arter og Varieteter, saaledes at Furesøen hører til de artsrigeste Søer her i Landet. I det følgende er sammenstillet en Liste over de Arter og Varieteter, som er fundne i Furesøen. Der er kun anført, hvad jeg selv har fundet eller set hos andre i sikre Eksemplarer.

#### Pulmonata.

*Limnæa stagnalis* L.

— — var. *subulata* Wstld.

*Limnæa (Gulnaria) auricularia* L.

— — *ovata* Drap.

var. *inflata* Kob.

— — — *palula* Da Costa (*ampullacea* Rossm.)

— — — *obtusata* Kob.

— — — *ampla* Hartm.

— — — *hartmanni* Charp.

— — — *peregrina* Müll.

*Limnæa (Limnophysa) palustris* Müll.

\* — — *truncatula* Müll.

*Amphipeplea glutinosa* Müll.

*Physa fontinalis* L.

*Planorbis corneus* L.

— — f. *ammonoceras* Wstld.

*Planorbis (Tropidiscus) planorbis* L. (= *umbilicatus* Müll.)

— — *carinatus* Müll.

*Planorbis (Gyrorbis) vortex* L.

\* — — *spirorbis* L. (Müll.)

*Planorbis (Gyraulus) albus* Müll.

— — f. *hispidus* Drap.

— — var. *socius* Wstld.

— — var. *deformis* Hartm. (?)

*Planorbis (Bathymphalus) contortus* L.

- Planorbis* (Armiger) *nautilus* L.  
 — — var. *cristatus* Drap.  
*Planorbis* (Hippertis) *complanatus* L.  
 \* — — var. *riparius* Wstld.  
 \* *Planorbis* (Segmentina) *nitidus* Müll.  
*Ancylus lacustris* L.

#### Prosobranchia.

- Neritina fluviatilis* L.  
*Bythinia tentaculata* L. [*Bithynia tentaculata* L.]  
 — *leachi* Shepp.  
*Bythinella scholtzii* Ad. Schm.  
*Valvata piscinalis* Müll.  
 — — var. *antiqua* Sowb.  
 — *macrostoma* Steenbuch  
 — *cristata* Müll.

#### Acephala.

- Unio tumidus* Retz.  
 — — f. *conus* Spgl. etc.  
 — *pictorum* L.  
*Anodonta cygnea* L. [*Anodontites anatina* L.]  
 — — f. *macula* Shepp.  
*Sphaerium corneum* L.  
 — — var. *mamillanum* Wstld.  
 — — *scaldianum* Normand<sup>1)</sup>  
*Pisidium amnicum* Müll.  
 — *casertanum* Poli  
 — *henslowianum* Shepp.  
 — *subtruncatum* Malm  
 — *parvulum* (Cless.) B. B. Woodward  
 — *pusillum* Jen.  
 — *nitidum* Jen.  
 — *obtusale* (Lam.) Jen.  
 (\*) — *pulchellum* Jen.  
 (\*) — *milium* Held

*Dreissensia polymorpha* Pallas [*Dreissena polymorpha* Pallas].

De med \* mærkede Arter og Varieteter tilhører ikke selve Søen, men findes i Pytter og paa oversvømmede Steder paa Bredden. Paa saadanne Steder kan ogsaa undertiden findes *Aplexa hypnorum* L. — Af *Hydrobia ventrosa* Mont. har A. C. JOHANSEN fundet en paa Bredden opskyllet frisk Skal (Radula fandtes endnu deri); men der er aldrig senere taget hverken levende Eksemplarer eller Skaller af den i Søen. De 2 med (\*)

<sup>1)</sup> Denne Varietet har jeg ikke selv fundet, den er taget af A. C. JOHANSEN (1899).

mærkede Pisidier har jeg ikke taget i selve Soen; men da de findes i ret stort Antal i Kanalerne, vil de sikkert ogsaa kunne findes inderst i Fiskebækbugten, Store og Lille Kalv.

## De enkelte Arters bathymetriske Udbredelse, deres Hyppighed og Variation.

### Gastropoda.

#### Pulmonater.

*Limnæa stagnalis* L. (Tavle 4, Fig. 1—8).

Den i Furesøen hyppigst forekommende Form er var. *subulata* Wstld. (Fig. 3—8), kendelig paa sit lange og slanke Spir. Den findes i Bugter og Vige, hvor Vandet er roligt, og hvor der er Plantevækst, altsaa væsentligst i Store- og Lille Kalv samt inden for og i *Scirpus-Phragmites*-Zonen. Ydergrænsen maa sættes til ca. 5 m. Naar Store og Lille Kalv undtages, findes tomme Skaller kun sjælden. Saadanne er taget paa 5 Stationer (paa indtil 10 m's Dybde) og paa hvert Sted kun i 1—3 Eksemplarer; derimod findes Skaller ret hyppig opkastet paa Bredden.

*Limnæa (Gulnaria) auricularia* L. (Tavle 1).

Denne Art har jeg fundet i størst Mængde og i de smukkeste Eksemplarer paa *Phragmites* og *Scirpus*. Naar man sejler langs Yderranden af *Scirpus-Phragmites*-Bæltet, kan man se Dyrene siddende paa Stænglerne i forskellig Højde, hyppigst dog en 20—30 cm under Vandoverfladen. Kommer man til at røre ved dem med Haanden eller Kætseren, naar man vil tage dem op, og man ikke straks faar dem løsnet, trykker de sig ved Hjælp af deres brede Fod kraftig ind mod Stængelen og presser Skalmundens Rande mod denne, paa en lignende Maade som vidmundede Havsnegle trykker sig mod Underlaget; der maa et saa kraftigt Ryk til at løsne dem, at det ofte gaar ud over den tynde Skalarand, der let brydes itu. Mundingens Form (Tavle 1, Fig. 2—4) gør dem ogsaa vel skikket til at fatte omkring Stænglerne. Den nedre Del af Mundranden er tilbagebøjet og udhulet, det samme gælder den øvre Del ved Sømmen, om end i ringere Grad; derved kommer den ydre Del af Mundranden til at springe betydelig frem, saaledes at denne fatter om Stængelen paa den ene Side, Akseranden og næstsidsde Vinding paa den anden Side. Sjælden ser man mere end et Eksempel paa samme Stængel. Antagelig søger de deres Næring i de paa disse voksende Alger<sup>1)</sup>, ligesom de ogsaa afgangner den derpaa siddende Kalk. At de lever af Alger<sup>2)</sup> eller — for de paa Bunden levende Individers Vedkommende — af Detritus, kunde følgende tyde paa. Gentagne Gange har jeg sat Eksemplarer af denne Art i et mindre Akvarium og fodret dem med Salat. Medens *Limnæa stagnalis* og *Limnæa ovata* (fra Dämme) straks kastede sig over Salaten og aad

<sup>1)</sup> I Vinterhalvaaret bestaar Algebelægningen paa de halvraadne Stængler væsentligst af Diatomeer, om Sommeren især af blaagronne Alger med Kalkinkrusteringer (*Rivularia*).

<sup>2)</sup> CLESSIN (1897) mener, at de lever af kalkholdige Alger, ogsaa KOBELT (1870, pag. 153—154) angiver, at *Limnæa auricularia* var. *ampla* Hartm. lever af Alger eller forraadnende Plantedele samt at Dyr i Akvarium ikke æder af de friske Planter.

den med stor Begærlighed, rorte *L. auricularia*-Eksemplarerne fra Furesøen den aldrig, lige saa lidt som de aad noget videre af de indsatte Vandplanter. De var i det hele taget vanskelige at holde i Akvarium i længere Tid.

Ejendommeligt nok fandtes saa godt som intet Eksempel paa Bevoksningerne ude i Søen. Til Trods for at store Mængder af *Potamogeton lucens*, *perfoliatus* og *Batrachium* toges op i Baaden og undersøgte nøje, fandtes der som Regel hverken Unger eller voksne Individuer derpaa; i det hele taget var saadanne Bevoksninger fattige paa Snegle. I Mod-sætning hertil angiver A. C. JOHANSEN (1899 pag. 208), at *L. auricularia* og *ovata* lever paa *Potamogeton lucens*-Vegetationen, og (pag. 159) at WESENBERG-LUND paa samme Vegetation i 6—7 m's Dybde har skrabet *L. auricularia* i Mængde.

Paa Bunden er den ikke repræsenteret i ret stort Antal. I Materiale fra 90 Stationer (mellem 2 og 20 m) fandtes den kun levende i de 19 og da altid i faa Eksemplarer, hyppigst 1—2, sjældnere i noget større Antal, 4—6 (paa 4 Stationer). De fleste fandtes, i al Fald i Store Kalven, paa Characeebevoksningen mellem 2 og 5 m. Størsteparten var unge Individuer. — Ydergrænsen for Arten maa sættes ved ca. 7 m; enkelte kan maa-ske træffes lidt længere ude.

Skaller fandtes ud til 13 m's Dybde, dog kun paa faa Steder i større Mængde. At der findes saa faa Skaller maa vel skyldes, dels at der lever ret faa Individuer uden for *Phragmites-Scirpus*-Zonen, dels at Skallerne let sonderdeles og opløses. Desuden føres om Efteraaret og særlig om Foraaret store Mængder af de døde Dyr, baade af denne og den efterfølgende Art — særlig dog af *auricularia* — op paa Bredden, hvor de kan ligge som hele Lag. Dette er omtalt af WESENBERG-LUND (1901 pag. 72—73) og af A. C. JOHANSEN (1902 pag. 9, 15).

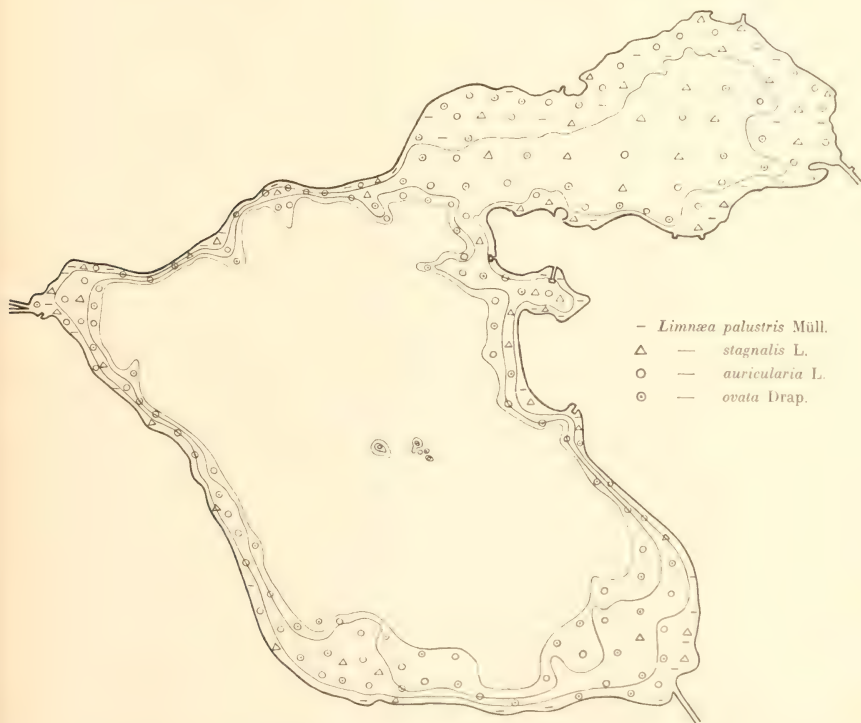
Denne Art varierer langt fra saa meget som efterfølgende. Den typiske Form (Tavle 1, Fig. 1) har et lavt Spir og stærkt »skuldrede« Vindinger, hvis øverste Parti er afladet eller ofte endog hælder ned mod Sømmen, saaledes at denne ved sidste Vinding bliver rendeformet; Akseranden er stærkt snoet, Mundrandens øverste Del udspringer fra Mundvæggen under en ret Vinkel, og Mundingen er temmelig bred. Fra denne Type afviger nu Skallerne paa forskellig Maade: Spiret kan blive højere og slankere (Fig. 10), saaledes som Tilfældet altid er hos de unge Individuer (Fig. 16—20). Den fremspringende Kant »Skulderen« paa sidste Vinding forsvinder ofte, og Vindingerne bliver mere afrundede som hos *L. ovata* (Fig. 4, 14). Andre Eksemplarer har en høj og, særlig ovenpå, smal Munding (Fig. 6—8). Den interessanteste Afvigelse findes dog blandt de Individuer, der har en svagt snoet eller fuldstændig lige Akserand (Fig. 5, 10, 11—15). Enkelte af disse (Fig. 13—15) faar nemlig en forbavsende Lighed med *Limnæa ovata* var. *inflata*. Lignende Konvergensformer for de to Arter er tidligere omtalt og afbildet af A. C. JOHANSEN (1899, pag. 207—08).

#### *Limnæa ovata* Drap. (Tavle 2).

Levemaaaden er for denne Snegls Vedkommende omtrent som hos foregaaende, og det samme gælder for dens vertikale Udbredelse. Ydergrænsen maa sættes ved 7—8 m. Uden for *Phragmites-Scirpus*-Bæltet fandtes den dog i flere Skrabepróver end *L. auricularia*. Sjælden forekommer den paa den enkelte Station i større Mængde (10—13 Individuer), oftest kun i 1—3 Eksemplarer. — Skaller af denne Art er spredt over en stor



Del af Søbunden. I størst Mængde (10—15 Stkr. i hver Prøve) findes de, tildels sammen med Skaller af *L. auricularia*, paa Kysten ved Nørreskov, i Munden af Lille Kalv og paa Grænsen mellem Store Kalv og den øvrige Del af Furesøen, snart paa 8—13 m, snart længere inde. Uden for 13 m er Skaller kun fundet en enkelt Gang (paa 20 m). A. C. JOHANSEN angiver imidlertid at have taget enkelte Skaller paa 26 m, 28 m og 31 m.



Kort I visende den bathymetriske Udbredelse af *Linnæa* i Furesøen. Kurver: 2—5—8 m.

Variationen af denne Art er betydelig. Den typiske Form (Tavle 2, Fig. 13, 14, 12) har en langstrakt Skæl, forholdsvis højt Spir med vel afrundede Vindinger og en smal, oventil spidst udløbende Munding; Akseranden er som Regel svagt buet. Derfra er der jævn Overgang til Varieteten *patula* Da Costa eller *ampullacea* Rossm. (Fig. 1—5). Hertil henregnes smaa, næsten kugleformede Individer; hos disse er Mundranden foroven fæstet

saa højt oppe paa næstsidsite Vinding, at Spiret bliver overordentlig lille og Mundingen meget høj. De noget større Individer (Fig. 6—8) med stærkt buet Akserand og særdeles vid Munding er beskrevet som Varieteten *oblusa* Kob. (egentlig som *L. ampla* var. *oblusa* Kob.). Blandt de høje, smalle Individer af *L. ovata* kan findes tyndskallede Stykker med lang og lige (eller dog kun svagt buet) Akserand (Fig. 11, 15). Det er saadanne, der nærmest svarer til Kobelts Varietet *inflata* (1870 Taf. IV, Fig. 12). De er imidlertid ret sjældne i Furesøen. Meget hyppigere er Stykker som dem, A. C. JOHANSEN (1899) omtaler og afbilder fra Furesøen under dette Navn (Fig. 16, 19, 20). De har ret tykke Skaller med et meget kort, næsten fladt Spir, »skuldrede« Vindinger og en kraftig, lige Akserand.

Medens den typiske Form og Varieteten *patula*, der begge er tyndskallede, holder til paa mindre udsatte Steder, i Store og Lille Kalv, findes den mere tykshallede *inflata* paa Randen af det store og dybe Furesøbassin, hvor der er mere Bevægelse i Vandet.

Fra Varieteten *inflata* kan 2 andre Former afledes: var. *ampla* Hartm. og var. *hartmanni* Charp. (*L. ampla* var. *Hartmanni* hos CLESSIN (1884, Fig. 228, pag. 373). — Den førstnævnte (Fig. 23—25) har ligesom *inflata* en lige Akserand; det karakteristiske ved den er dog den opadbøjede og stærkt udstaaende øvre Mundrand, der fuldstændig rager op over det ganske lille Spir. Som Følge af den ejendommelige vingeformede Udbredelse af Mundranden bliver Mundingen høj og bred, saaledes at den indtager næsten hele Skallens Underside, medens Vindingerne fylder forholdsvis lidt. Det er en Form, der findes ude paa Søbunden; paa Vandplanter har jeg aldrig truffet den. Den er sjælden i Furesøen, men andre Steder er den funden hyppigere, i Maribo Sø paa lavt Vand endog i stort Antal. — Den anden Form var. *hartmanni* Charp. (Fig. 9, 10) ligner *ampla*, men har dog et større Spir og mindre høj Munding. Akseranden er her ikke lige, men bøjer i den nedre Del brat udefter, saaledes at den danner en stump Vinkel med Aksen. GEYER (1909) henfører *hartmanni* til *L. auricularia*; det er ogsaa vel muligt, at der inden for denne Art findes en Form, der er analog med den her beskrevne.

Nogle faa Gange er der i Furesøen fundet nogle ejendommelig udseende Eksemplarer af *L. ovata* (Tekstfigur 12). De ligner med Hensyn til den lige Akserand nærmest var. *inflata*, men ellers afviger de meget fra denne Varietet; thi Mundingen er særdeles høj og foroven smal, rendeformet udløbende, sidste Vinding er vel afrundet og Sømmen usædvanlig dyb.

Hos mange *ovata*-Former er der en Tilbøjelighed til ved Afslutningen af Væksten at danne en mere eller mindre bred, ombojet Krave, der undertiden kan slaas helt om, saaledes at der fremkommer en Rende paa Ydersiden. Dette har jeg meget sjælden set hos Furesøformerne (Fig. 8, 23). Der er hos mange Individer Tilløb dertil; men ofte bliver det ikke til mere end en valkformet Udvidelse, der løber paa tværs af sidste Vinding. Denne Fremtoning er dog noget, der er meget variabel og i samme Vandsamling forskellig i de forskellige Aar. Jeg maa antage, at kun naar Ernæringsforholdene har været særlig gode, kan Dyrene flutte sig med at lægge denne ekstra Aflejring paa, som sikkert ikke er noget absolut nødvendigt for dem. I Furesøen er der dog ikke Grund til at tro, at der skulde være nogen videre Forskel paa Udseendet af Individerne til forskellige Tider, da Forholdene stadig er saa nogenlunde ens, og der f. Eks. ikke foregaar saadanne

Svingninger i Vandstanden som i Damme og mindre dybe Søer (f. Eks. i Maribo Sø, Damme ved Vordingborg, Vandsamlingerne i Dyrehaven o. s. v.)

Med Hensyn til Adskillelsen af de to Arter *L. auricularia* og *L. ovata* maa følgende bemærkes: A. C. JOHANSEN anfører (1899 pag. 208 og 225), at han, til Trods for at andre henfører Varieteten *ampla* til *L. auricularia*, som en Varietet af denne, ikke er i Stand til at sondre den fra de bredmundede Former af *Limnæa ovata* (var. *oblusa*), idet der findes en jævn Overgang mellem disse, og at *L. ampla* altsaa bedst kan betragtes som en Varietet af *ovata* Drap. Dertil kan jeg fuldstændig slutte mig — for de danske Limnæers Vedkommende; men efter al Sandsynlighed kan lignende Former optræde hos *L. auricularia* L. (Clessins Fig. 225, pag. 372 [1884] synes saaledes at være en *auricularia*); ja selv hos *L. stagnalis* kan der findes en lignende Tendens til Reduktion af Spiret og samtidig Udvidelse af Mundingen, særlig oventil. Saadanne Former (*L. lacustris* Stud. og *L. bodamica* Cless. 1884 pag. 366, Fig. 219, 220) angives fra store Søer med stærkt Bølgeslag; antagelig er de ligesom *L. ampla* Bunddyr, der lever paa Slam- eller Stenbund og ikke kryber op paa Vandplanter. De synes at være tilpassede til det urolige Vand; den store Flade, hvormed de hviler paa Underlaget, bevirker, at de ikke saa let kastes om. Lignende Forhold kendes jo ogsaa fra andre Dyregrupper, f. Eks. fra Vaarfluerne (*Molanna*, *Goera*, WESENBERG-LUND 1909). *L. ampla* er derfor ikke nogen selvstændig Art, men derimod en biologisk Form, der kan optræde hos alle de Arter, der bebor større Vandsamlinger, hvor der kan komme Bølgegang og Brænding. Denne Tanke er allerede fremkommen hos flere; tydeligst er den udtalt af HAZAY (1881 pag. 213, 214) og BOLLINGER (1909 pag. 136, 138); den sidstnævnte viser tillige smukke Variationsrækker fra *ovata* og *auricularia* til *ampla* (Taf. I—II).

At *L. ampla* ikke er nogen selvstændig Art fremgaar ogsaa ved Betragtningen af de Figurer, der hos de forskellige Forfattere illustrerer Varieteterne inden for *L. ampla*. (Eksp. Fig. 225—230 hos CLESSIN, 1884). Disse maa sikkert fordeles blandt *L. auricularia* og *ovata*. En Henføring af et enkelt Individ til den ene eller den anden af disse to Arter er i flere Tilfælde vanskelig, og der synes at være taget fejl i mange Tilfælde. De Kendetegn, man har anført ved Artsadskillelsen, er følgende. 1. Formen: *L. auricularia* er øreformet, bred, *L. ovata* højere end bred. 2. Mundingen: Hos *auricularia* er denne meget vid, ogsaa oventil og Yderranden halvcirkelformet, hos *ovata* er Mundingen derimod langstrakt ægformet, nedadtil forlænget. 3. Mundingens Yderrand udspringer fra næstsidste Vinding under en ret eller endog stump Vinkel hos *L. auricularia*, under en spids Vinkel hos *ovata*. 4. Akseranden er hos *L. auricularia* stærkt snoet oventil og danner ved Basis af Mundingen en dyb Indbugtning; hos *L. ovata* er den uden Fold og enten svagt buet eller endog lige. Alle disse Kendetegn er mindre gode, idet baade Skallens og Mundingens Form, som vist, varierer meget stærkt. Akseranden kan hos *L. auricularia* mangle Folden, medens en svag Fold kan findes hos *ovata* (Tavle 2, Fig. 21, 22). Meget bedre Kendetegn leverer Udseendet af sidste Vindings øvre Halvdel, samt i Særdeleshed Spiret. Hos *L. auricularia* er sidste Vinding afladet under Sommen og horizontalt udløbende, saaledes at den oventil bliver kantet, »skuldret«, medens den hos *L. ovata* gaar i en jævn Bue nedefter, uden Antydning af Kant. Sommen kan der-

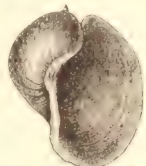


Fig. 12. *Limnæa ovata* Drap. var. Naturlig Størrelse.

imod hos begge Former være grund eller dyb. Spiret synes mig at afgive de mest konstante Kendetegn. Det er hos *L. auricularia* (Tekstfig. 13) smalt, spidst og stærkt snoet, saaledes at Sømmen kommer til at gaa meget stejlt. Deraf følger tillige, at en stor Del af 2. og 3. Vinding bliver synlig; Vindingerne bliver altsaa høje og slanke. Paa de første  $3-3\frac{1}{2}$  Vindinger bliver Partiet under Sømmen fladt, stejlt nedadgaaende, ja i den øverste Del oftest endog konkav. Derved bliver Udseendet af den voksne og Ungen vidt forskellig, idet det er den sidste Vinding, der betinger Skallens karakteristiske Øreform.



Fig. 13. Spiret af  
*Linnæa auricularia* L.  
× 7



Fig. 14. Spiret af  
*L. ovata* Drap.  
× 7

har kunnet se, saa nogenlunde uafhængigt af de store Formforskelligheder, der betinges af Lægningen og Formen af den sidste Vinding. Det er særlig den sidste Vindings Udseende, der paavirkes af de ydre Forhold. Man vil derfor sikkert ved at flytte unge Dyr af samme Æggeklump til Vandsamlinger, hvor der bydes dem forskellige Levevilkaar, kunne faa uddannet meget forskellige Former, vel sagtens Hovedparten af de under forskellige Navne beskrevne Varieteter. HAZAY (1881, 1885) har allerede smukt paavist, hvorledes mange af de beskrevne Varieteter af *L. auricularia* og *L. ovata* maa opfattes som uudviklede Individuer eller Ungdomsformer af de 2 Arter. I Løbet af de sidste Aar har WACLAW ROSZKOWSKI undersøgt de to Arter anatomisk (1912, 1914) og fundet gode Kendetegn i Receptaculum seminis, Prostata og Penis. Der er saaledes Udsigt til ad denne Vej at kunne afgøre Tvivlsspørgsmaal, hvis saadanne skulde opstaa, ved Henføringen af Formerne til de to Arter.

Foruden de ovenfor anførte Varieteter og Former af *L. ovata* er ogsaa *L. peregra* Müll. fundet i Furesøen, dog ikke i det egentlige Furesøbassin, men paa sumpede Steder ved Bredden. Denne Snegl maa efter HAZAYS (1881) og BOLLINGERS Undersøgelser (1909) henføres som en Varietet under *L. ovata*. Skaller af den har jeg aldrig taget ved Skrabning.

#### *Linnæa palustris* Müll. (Tekstfig. 15)

forekommer kun inde ved Bredden, paa 0—2 m; den findes inde i Bugterne hyppig paa Vandplanter. Enkelte tomme Skaller eller Skalfragmenter er ført længere ud. Jeg har



Fig. 15. *Linnæa palustris* Müll.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Maalestokken i Fig. 15 og følgende Figurer angiver hele og halve mm.

selv kun taget saadanne i enkelte Eksemplarer paa 2 forskellige Stationer<sup>1)</sup> (4—6 m); men A. C. JOHANSEN angiver et enkelt Stykke fra 34 m. Hyppigere findes de tomme Skaller paa Bredden.

*Limnæa truncatula* Müll.

er kun fundet i Pytter paa Bredden eller i smaa Bugter med lav Vandstand; hyppigst findes de som tomme Skaller paa Steder, som Vandet kun oversvømmer paa visse Tider af Aaret, og det samme gælder om *Aplexa hypnorum* L. og *Planorbis spirorbis* L. Ved Skrabning har jeg aldrig faaet Skaller af disse op.

*Amphipeplea glutinosa* Müll. (Tekstfig. 16, 17).

Kun enkelte nogle Gange er der taget Skaller af denne Art, nemlig i Aagesholm Bugten paa 3—7 m og i Store Kalv paa 2½ m. Docent R. H. STAMM fandt nogle faa tomme Skaller paa Bredden ved Virum. Man maa derfor antage, at den findes levende, om end sparsomt, paa lavt Vand i Store og Lille Kalv, i rolige Bugter samt i Kanalerne, der danner Tillob og Aflob fra Furesøen. Jeg selv har ikke set den levende der; men Dr. A. C. JOHANSEN og H. SELL angiver at have fundet den. H. SELL meddeler (1901 pag. 99) som Findested *Phragmites-Scirpus*-Bæltet i Nordøstsiden af Søen paa 1 m's Dybde.

*Physa fontinalis* L. (Tekstfig. 18).

Denne er ret hyppig paa Vandplanter (Aakander, Lemna, Potamogeton o. s. v.) inde ved Bredden, hvor den findes sammen med *Planorbis cornutus* L., *carinatus* Müll., *vortex* L., *albus* Müll., *Limnæa palustris* Müll., *L. stagnalis* L., Unger af *Limnæa auricularia* L. og *L. ovata* Drap. Da *Physa* har saa skrøbelig en Skal, sønderlaas og opløses de tomme Skaller let, og det er sikkert Grunden til, at man saa sjældent finder dem ved Skrabning. Kun een Gang (ved Kollekolle) har jeg taget et Par Eksemplarer ved en Skrabning, der gik fra 3 til 9 m.

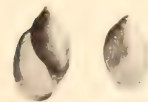


Fig. 18. *Physa fontinalis* L.



Fig. 16. *Amphipeplea glutinosa* Müll. (e. Fotografi).



Fig. 17. *Amphipeplea glutinosa* Müll.  $\times 2,5$ .

*Ancylus lacustris* L. (T. 3 Fig. 47—52).

Paa Aakandestilke, Stængler af *Scirpus* og *Phragmites* finder man ofte *Ancylus* i stor Mængde, saaledes ved Frederiksdal og inderst i Bugten ved Fiskebæk. Skaller af denne Snegl har jeg aldrig faaet op ved nogen af Skrabningerne i Søen.

**Planorbis.**

Planorberne spiller en ret underordnet Rolle i Furesøen. Ved Skrabninger (fra 1½—2 m og indefter) har jeg kun taget følgende Arter levende: *P. cornutus* L., *carinatus* Müll., *albus* Müll. med Varieteter og *nautilius* L. med Varieteter; af disse er endda *P. carinatus* Müll. kun fundet en enkelt Gang, nemlig i en Bugt i *Scirpus*-Bæltet paa 2 m.

<sup>1)</sup> Då det ene Eksempel fandtes paa Lange-Banke (5½ m), er der Mulighed for, at den lever her.



saaledes at det maa antages, at den tilfældig er kommen ned paa Bunden. Paa Vandplanter inde ved Bredden, hvor der er Læ, findes ofte i stort Antal *P. corneus* L., *planorbis* L., (Tekstfig. 19), *carinatus* Müll. (Tekstfig. 20—21), *vortex* L. (Tavle 3, Fig. 57—59), *contortus* L. (Tekstfig. 22) og *nautilus* L. (Tekstfig. 23—26) og paa ganske lavt



Fig. 19.



Fig. 20.



Fig. 21.



Fig. 22.

Fig. 19. *Planorbis planorbis* L. — Fig. 20—21. *Planorbis carinatus* Müll. (efter Fotografi; nat. Størrelse).

Fig. 22. *Planorbis contortus* L.  $\times 2,5$ .



Fig. 23.



Fig. 24—25.



Fig. 26.

Fig. 23. *Planorbis nautilus* L. — Fig. 24—26. var. *cristatus* Drap. (alle Figurerne  $\times 9$ ).

*tus* og *nautilus* fra 18 m og 23 m og *carinatus* fra 23 m. Endvidere har jeg fundet Skaller af *P. complanatus* (Tekstfig. 27—28), der i levende Tilstand næppe gaar længere ud end til 1 m, paa 7 forskellige Steder i Dybder paa 3—13 (15) m, aldrig dog i større Antal paa hver Station (indtil 6 Stk.). Denne Art er ikke tidligere angivet fra selve Furesøen. Af *P. spirorbis* og *nitidus* fandtes der slet ikke, af *P. planorbis* kun yderst sjælden Skaller i Skrabeproverne.

Af Planorberne fortjener kun 2 Arter en nærmere Omtale.

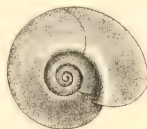


Fig. 27—28. *Planorbis complanatus* L.  $\times 8$ .

#### *Planorbis corneus* L. (Tekstfig. 29).

Foruden den typiske Form findes i Søen ogsaa en flad Form, der har lav og ret smal sidste Vinding, saaledes at Skallen, særlig paa Oversiden, bliver ganske flad og Sømmen langt mindre dyb end sædvanlig. Denne svarer til *P. elophilus* v. *ammonoceras* Wstld. — Levende er *P. corneus* taget ved Skrabning paa 4 Stationer i Store og Lille Kalv i Dybder paa 2—5 m. I større Mængde træffer man den inde paa lavt Vand ved Bredden. Tomme Skaller fandtes paa talrige Stationer (2—10 m), dog aldrig i stort Antal (højest 4 Stk.) paa hver. Ofte træffes Skaller opskyllet paa Bredden.

*Planorbis albus* Müll. (Tekstfig. 30—34).

Denne Art har en lignende Udbredelse (0—5 m) som *P. corneus*, men er langt hyppigere og ikke indskrænket til Store og Lille Kalv. Et enkelt Eksemplar er taget paa 8 m; men det maa be-  
 tragtes som en Undtagelse. Døde Eksemplarer er skrabet paa saa godt som alle Stationer, ofte i stort Antal (indtil 50 Stk.) i samme Prove, i størst Mængde i Dybder fra 4(5) m til 13 m. A. C. JOHANSEN har skrabet enkelte Eksemplarer endnu længere ude paa 18 og 26 m. De findes ofte opskyllet paa Bredden. — I Modsætning til de andre Fureso-Planorber varierer denne Art ret stærkt. Man kan baade blandt de levende Individuer og blandt de tomme Skaller skelne mellem 3 forskellige Former:

Fig. 29. *Planorbis corneus* L. (efter Fotografi; nat. Størrelse).

1. Den typiske Form (Tekstfig. 30), der har følgende Udseende: Spiret forholdsvis lille, Vindingerne meget hastig tiltagende, den sidste stærkt udvidet mod Mundingen, cylindrisk, overalt tydelig spiralstribet. Mundingens Overkant stærkt fremspringende. Mundingen meget skæv oval. Oversiden flad, i Midten (over de to inderste Vindinger) dybt punktformet indsenket, paa Undersiden jævnt og svagt udhulet.

Fig. 30. *Planorbis albus* Müll. typ.  $\times 6$ .

2. *Forma hispida* Drap. Ligner den typiske Form, men langs alle Spirallinierne findes fine, smalt kegleformede Haar. (Største Individ 6 mm bredt).

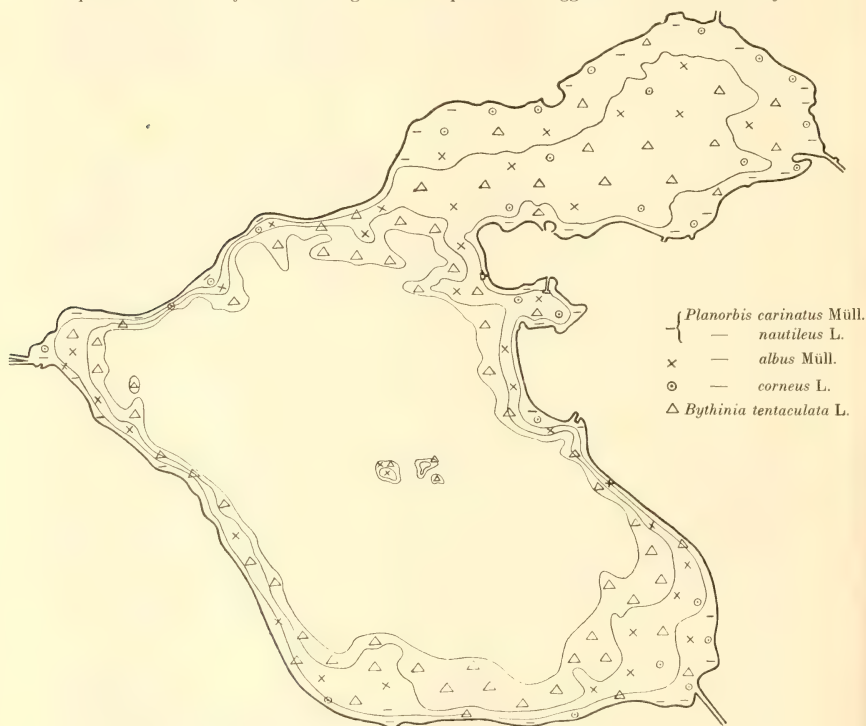
3. *Var. socius* Wstld. og *deformis* Hartm. (?). I Furesoen findes en meget karakteristisk *albus* Varietet, (Tekstfig. 31—33), som

afviger betydeligt fra den typiske Form. Skallen er stor og fladtrykt, paa Oversiden ganske flad eller endog hvælvet; de to første Vindinger er oftest ret dybt indsenkede. Vindingerne ( $4\frac{1}{2}$ ) tiltager snart langsomt, snart hurtigere; men den sidste er al-

Fig. 31—33. *Planorbis albus* Müll. var.  $\times 5$ .

drig pludselig udvidet hen imod Mundingen. Et Stykke uden for Sommen er Vindingerne, særlig den sidste, ophøjet, saaledes at de gaar stejlt ned mod Sommen, der derved bliver dyb, udadtil er sidste Vinding derimod stærkt affladet, saaledes at den

falder langsomt ned mod den udprægede Køl, der kanter Vindingerne; ja undertiden er den endog lige over Kølen noget konkav. Undersiden af Vindingerne er jævnt hvælvet. Udseendet af Skallens Underside viser sig variabel; snart er den omtrent flad, snart pludselig udhulet i Midten, oftest dog jævnt skaalformet udhulet. Munden er skæv, elliptisk eller smalt hjerteformet og Randene paa Mundvæggen forbundne ved en tyde-



Kort II visende den bathymetriske Udbredelse af *Planorbis* og *Bythinia* i Furesøen.  
Kurver: 2—5—10 m.

lig Callus. Strukturen er som hos den typiske Form. Nogle Individuer mangler, andre er derimod forsynet med en ret bred Hudsom, dannet af skraat stillede, gullighbrune Conchinflager, der hver fortsætter sig i en Tilvækststribе; disse er ligesom Conchinflagerne meget regelmæssig stillet og desuden særdeles stærkt buet. Hos mange Individuer fremkommer Uregelmæssigheder, idet Skallen kan være vreden paa forskellig Maade; enkelte

Eksemplarer (Tekstfig. 34) har endog sidste Vinding frigjort paa et kort Stykke. Det største Individ maalte  $6\frac{1}{4}$  mm i Bredden, 1,6 mm i Højden.

Fra den tydelig kølede Form med Hindebræmme er der talrige Overgange til Former uden Bræmme og med svagt antydet Køl. Individier med konkav Basis, svag Køl og elliptisk Munding svarer til Beskrivelse og Figurer af *P. deformis* Hartm. hos CLESSIN (1884), enkelte med afrundet sidste Vinding til *P. socius* Wstld. (1897), Individier med udpræget Køl, flad Basis og smalt hjerteformet Munding minder ganske om *P. tenellus* Hartm. (CLESSIN 1884, pag. 423, Fig. 284). Baaede *deformis* og *tenellus* angives fra de store bayerske Søer, og CLESSIN (1873) tyder de hos disse optrædende Uregelmæssigheder som Følgen af Forstyrrelser fremkaldt ved Bolgeslaget, idet det er Former, der lever paa forholdsvis lavt Vand, hvor der saa godt som altid er Uro. — Størsteparten af de Skaller, man tager ved Skrabning tilhører den afladete Varietet; *forma hispida* er dog ogsaa ret hyppig. Ved Bredden træffer man alle tre Former, dog synes det mig, at *hispida* er den hyppigste.

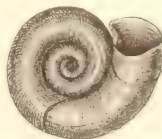


Fig. 34. *Planorbis albus* Müll. var.  $\times 4,5$ .

#### *Bythinia tentaculata* L. (Tekstfig. 35).

Det er næst efter *Valvata piscinalis antiqua* den Snegl, der har den største Udbredelse i Furesøen og samtidig møder med det største Individantal, ja i Store Kalv og paa enkelte andre Steder overgaar den endog *Valvata* i den sidste Henseende. Men medens *Valvata antiqua* gaar helt ud til 13 m, standser *Bythinia tentaculata* ved 9—10 m, holder sig altsaa fortrinsvis til den bevoksede Del af Søen og gaar vist kun paa meget faa Steder uden for Characee-Bæltet. Det største Antal levende Eksemplarer kom i Skraberen i Dybder paa 3—6 m; særlig store Mængder fandtes paa Characee-Bund i Store Kalv. — Dens Skaller findes spredt over hele Søbunden. Saaledes toges disse paa saa godt som alle Stationer ud til 20 m; længere ude (21—31 m) har A. C. JOHANSEN skrabet den. I stor Mængde fandtes de tomme Skaller paa de samme Dybder, hvor de levende Dyr optræder talrigst; men lige saa hyppigt toges de paa 8—13 m's Dybde, og paa disse Steder finder man ogsaa de talrigste Laag. Disse bevares altid langt bedre end Skallerne, hvilket skyldes det større Conchin-Indhold. Enkelte Steder findes de i enorm Mængde. Saaledes bestod ved et Par Skrabninger paa Store Banke, der gik fra 12—15 m og fra 8—22 m, næsten hele Proven af *Bythinia*-Laag; de fandtes deri i Tusindvis.



Fig. 35. *Bythinia tentaculata* L. (after Fotografi).

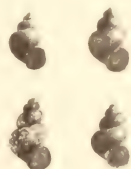


Fig. 36. *Bythinia leachi* Shepp. (after Fotografi).

#### *Bythinia leachi* Shepp. (Tekstfig. 36).

har jeg kun en enkelt Gang taget levende ved Skrabning, nemlig paa Sydkysten i en Dybde af 4—5 m. Den træffes ellers ved Bredden undertiden i smukke, store Eksem-

plarer, men sjælden i stort Tal. Dens Skaller er fundet i et Antal af 1—21 Stk. paa 9 Stationer i Dybder paa 3—15 m, det største Antal (21) i 4—6 m's Dybde.

*Neritina fluviatilis* L. (Tekstfig. 37).

I Sammenligning med *Bythinia* har denne Snegl en mere sporadisk Forekomst, idet den væsentligst er knyttet til Stenbund eller til Steder, hvor der er større Allejninger

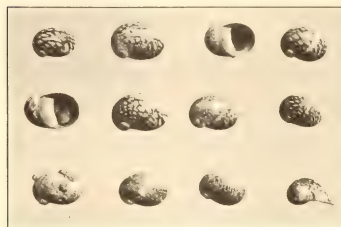


Fig. 37. *Neritina fluviatilis* Müll. (efter Fotografi).  
Naturlig Størrelse.

af Muslingeskaller; længere end til 7—8 m gaar den dog ikke ud. Særlig hyppig er den paa Stenene ved Bredden, hvor der er ret lavt Vand (indenfor 1—1½ m). Det er den eneste Molluskart, der er karakteristisk for Soens Brændings-Zone (W-L. 1808—09.) — Med Skraberne faar man den kun i mindre Tal. Paa de 27 Stationer, hvor den blev taget, varierede Antallet mellem 1 og 10, kun paa en enkelt Station (4—6 m) fandtes ca. 30 Stk. — Tomme Skaller findes derimod spredt over hele Søbunden. Den blev skrabet i Dybder paa indtil 20—22 m; i større Antal fandtes den

paa 3—4 m, men ogsaa uden for de levende Dyrs Udbredelsesomraade, paa 8—15 m, blev der skrabet Skaller af den i ikke faa Eksemplarer. Laagene ser man langtfra saa hyppig af denne Art som af *Bythinia*; intet Sted er de saaledes dominerende som for *Bythinia tentaculata*'s Vedkommende. Hverken denne Art eller de to sidst omtalte er videre variable; kun med Hensyn til Størrelse og Farve (*Neritina*) kan der være nogen Variation.

*Bythinella scholtzii* A. Schm. (Tekstfig. 38, 39).

Kun fra faa Steder er denne Art kendt med Sikkerhed. Docent R. H. STAMM har taget 5 Eksemplarer i Lottenborg Sø paa Pælene af en Baadebro, nogle faa friske Skaller er fundet i Susaaen af Dr. A. C. JOHANSEN, og selv fandt jeg den i 1902 paa Vandplanter ved Fladbø (Nørre Aa). Den nærtstående *Hydrobia ventrosa* Mont. anfører A. C. JOHANSEN (1899) fra Furesøen (vopskyllet ved Bredden én frisk Skale), og H. SELL (1901) angiver at have taget den levende sammesteds i 4—6 m's Dybde<sup>1)</sup>. — *H. ventrosa* har jeg aldrig fundet i Furesøen, hverken i levende Tilstand eller som Skaller, derimod tog jeg Skaller af *Bythinella scholtzii* paa enkelte Stationer i større Antal. Paa 6 Steder i Dybder fra 3—13 m fandtes ialt 56 Eksemplarer, ved Fiskebæk paa 8—9 m endog 34 Stk. i samme Skrab. Ejendommeligt nok laa alle de Stationer, hvor *B. scholtzii* fandtes, i den nordvestlige Del af Søen omkring Fiskebæk og Højeklint. Den maa sikkert derfor leve inde ved Bredden paa denne Strækning. I Farum Sø er Skaller af denne Snegl ikke fundet.



Fig. 38—39. *Bythinella scholtzii* A. Schm. × 8.  
Fig. 39 med afløst sidste Vinding.

<sup>1)</sup> Efter Meddelelse fra Hr. SELL beror denne Angivelse sikkert paa en Fejltagelse; han har kun fundet 1 dødt Eksp. paa 18 m.



*Valvata piscinalis* Müll. (Tavle 3, Fig. 1—46).

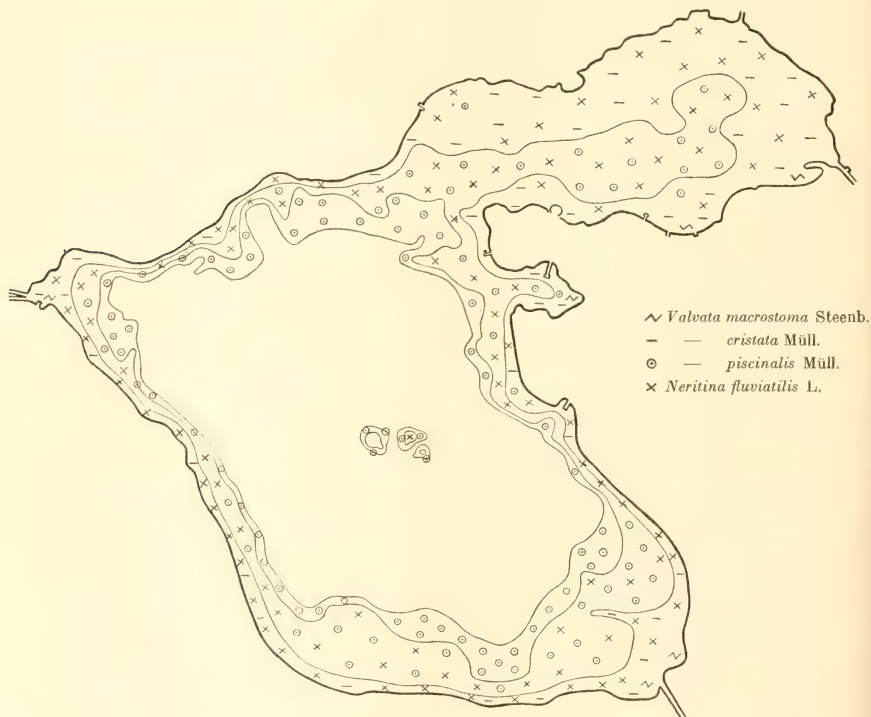
Ingen anden Snegl gaar i Furesøen saa langt ud som *Valvata piscinalis* var. *antiqua* Sowb. Man finder den saa godt som overalt inden for 13 m, enkelte Steder synes den endog at kunne gaa lidt længere ud, nemlig paa Bankerne; indadtil optræder var. *antiqua* blandet med *piscinalis forma typica*; men endnu paa 3 m, ja endog paa 2 m (i Lille og Store Kalv) har *V. antiqua* Overvægten. Da imidlertid Ungerne af *V. antiqua* er hyppigst paa lavere Vand, vil man ved en mindre indgaaende Undersøgelse let faa det Indtryk, at Forholdet der er omvendt; men som jeg senere skal vise, kan Ungerne af de to Former i de fleste Tilfælde kendes fra hinanden. Jeg kan derfor ikke ganske slutte mig til A. C. JOHANSENS Mening om Mængdeforholdet mellem de to Former (1902), idet nævnte Forfatter angiver, at Grænsen mellem de Omraader, hvor henholdsvis *antiqua* og *piscinalis* typ. har Overvægten, ligger ved 4—6 m. Efter mine Undersøgelser falder den snarere ved 2 m; men man maa dog erindre, at Grænsen mellem Hovedform og Varietet langt fra er skarp, saaledes at det ofte bliver en Skøns Sag, hvor man vil trække Grænsen, og derfra kommer maaske for en Del Uoverensstemmelserne i denne Henseende. Ligeledes angiver A. C. JOHANSEN, at *V. piscinalis antiqua* kun forekommer i ringe Individantal, 1—6 Stk. i hver Skrabning. Dette stemmer dog ikke med mine Undersøgelser; paa flere Stationer har jeg taget 40—50 Stk., og endda blev kun en mindre Del af Skraberens Indhold sigtet og sorteret; paa enkelte Steder fandtes endog flere, 56 og 71 Stk. og i Store Kalv 100 og 146 Stk. Skallerne er spredt over hele Furesøens Bund. Desuden kastes de undertiden op paa Bredden. I størst Mængde findes de i et Bælte fra 4 til 13(15) m. Der udgør de sammen med Muslinger Hovedbestanddelen af den Masse, man faar op med Skraber, og Antallet løber op i Tusindvis i et Træk. Udenfor 13 m findes de ogsaa, dog i langt ringere Tal, ja selv paa det dybeste Sted (36 m) fandtes Skaller, men kun i meget faa Eksemplarer.

Arten er meget variabel. Den Form, der er den dominerende i Søen, er, som ovenfor anført, var. *antiqua* Sowb. Som den typiske *antiqua*, hvorom de andre grupperer sig, maa jeg betragte Individer med følgende Udseende (Tavle 3, Fig. 10—14, 23, 31—34): Skallen er kegleformet, nedadtil afrundet, dannet af  $5-5\frac{1}{4}$  Vindinger, der tiltager meget jævnt i Størrelse. Toppen af Skallen er afrundet, og da de øverste Vindinger er jævnt hvelvede og Sommen af ringe Dybde, faar den øvre Del af Skallen hos de voksne — og saaledes ogsaa Skallen af de ikke fuldt udviklede Individer — Bikubeform. Den sidste Vinding er jævnt afrundet eller har forneden blot Antydning til en Kant. Munden er omtrent kredsrunder; foroven danner den dog en svagt markeret, stump Vinkel. Akse- randen er noget tilbagebøjet, saa at den halvvejs skjuler den lille, naalestikformede Navle (Fig. 39). Et Individ med godt 5 Vindinger maalte 8,25 mm i Højden, 6,8 mm i Bredden.

Fra saadanne Individer gaar Variationen i 2 Retninger: 1. Til Former med høj, kegleformet, smal Skal, enten med ganske spids eller (oftest) afrundet Top (Fig. 1—5); paa disse er Sommen ofte dybere end hos Hovedformen, særlig mellem næstsidste og sidste Vinding, hvor den kan blive rendeformet tiltrykt. Vindingerne er hos Eksemplarer fra denne Variationsrække afladete og sidste Vinding forneden forsynet med en stump Kant (se Fig. 5), undertiden ogsaa med en svagere Kant lidt uden for Sommen. Partiet mellem disse to Kanter er da fladt, eller i al Fald kun svagt hvelvet. Enkelte

Individer kan have sidste Vinding stor og stærkt fremspringende, svarende til CLESSINS Figur (1884, pag. 457, Fig. 314). Et stort Individ med  $5\frac{1}{2}$  Vindinger maaler 11 mm i Højden, 7,2 mm i Bredden, et mindre paa 6 Vindinger 10,4 i Højden, 7 i Bredden.

2. Den anden Variationsrække fører over til Former, der har betydelig lavere æg-kegleformet Skal med stærkt hvælvede Vindinger og betydelig dybere Søm, selv



Kort III visende den bathymetriske Udbredelse af *Valvata* og *Neritina* i Furesøen.  
Kurver: 3—8—13 m.

mellem de øverste Vindinger, hvorved disse bliver mere etagevis afsatte. Sidste Vinding bliver særdeles dominerende i Forhold til Spiret, og Kanterne paa Vindingerne forsvinder. Samtidig med at sidste Vinding bliver bredere, tiltager Navlen i Vidde og tildækkes heller ikke saa meget af Akseranden (Fig. 41—45, 22). Et større Individ paa 5 Vindinger maalte 8,2 mm i Højden og 7 mm i Bredden, et mindre Individ paa

4¼ V. henholdsvis 5,8 og 5 mm. Gennem denne faas en Overgang til den typiske *piscinalis* (Fig. 46). — Forandringen fra 1ste til 2den Variationsrække behøver ikke at passere gennem de typiske *antiqua*-Eksemplarer, men kan gaa direkte fra 1 til 2, idet Skallen bibeholder sin udprægede Kegelform samtidig med at Spiret bliver noget kortere, sidste Vinding bredere og Navlen videre (Fig. 24). Et Eksempel af en saadan Melleform med 5¼ Vinding maalte 9,2 mm i Højden, 8 mm i Bredden. — Undertiden er fundet Individer med omtrent cylindrisk Skæl (Fig. 29), endvidere monstrose Eksemplarer, saaledes et venstresnoet Eksempel og Eksemplarer med løsnet sidste Vinding (Fig. 25—27). — Alle de hidtil beskrevne Former har en tyk, hvidgraa eller graagul Skæl, ofte med et rødt Anstrøg og mørkere Top. Tomme Skaller er først rødlige eller rødgule, senere, naar Forvitringen indtræder, hvide.

Om Fastsettelsen af Typen for de 2 Former *piscinalis* s. str. og *antiqua* kan der sikkert ikke være Tvivl. Navnet *piscinalis* stammer som bekendt fra OTTO F. MÜLLER (1774), og Originalstykkerne er taget i Smaadamme ved Frederiksdal. Navnet *antiqua* er i 1838 (S. 547) givet af G. B. SOWERBY, der samtidig fremkom med udmærkede Afbildninger deraf (se Kopier deraf, Tekstfig. 40, 41). De afbildede Individer er taget subfossile i pattedyrførende Allejringer i Thems Dalen (ved Grays). Der er to Figurer, der aabenbart forestiller to forskellige Former; den første (Fig. 40) viser et Udseende som de typiske Individer fra Furesøen (Fig. 11, 12, Tavle 3), den anden (Tekstfig. 40) svarer til Furesø-Eksemplarer som det paa Tavle 3, Fig. 23 afbildede.



Fig. 40—41. *Valvata piscinalis* Müll. var. *antiqua* Sowb. (Kopi efter Sowerbys Originalfigurer).

Den typiske *piscinalis* (T. 3, Fig. 46) synes mig at være sjælden i Furesøen<sup>1)</sup>, er det i alt Fald paa det Omraade, som jeg med størst Omhu har undersøgt (udenfor 1½ m), og heller ikke blandt de Tusinder af tomme Skaller, som er bleven undersøgt, har jeg kunnet finde ret mange, paa nogle Stationer slet ingen, paa andre kun 2—3 Stk., hvilket ikke tyder paa, at den paa ringere Dybde end 2 m findes i særlig stor Mængde, da Bredformer som f. Eks. *Valvata cristata*, *Planorbis nautilius*, *contortus* og flere andre tages i ret betydeligt Antal blandt andre tomme Skaller længere ude. De faa Stykker jeg har skrabt levende af den typiske *piscinalis*, har kun i et enkelt Tilfælde haft den tynde, gennemsigtige Skæl med den smukke grønne Farve, der karakteriserer *piscinalis*-Eksemplarerne fra Søerne og Botanisk Have i Kjøbenhavn. De er langt mere tykskallede og oftest gullige eller gulligrøde, sjælden med et grønligt Anstrøg. I Store Kalv (dog ikke i dennes yderste Del) træffes smaa Individer i stort Tal. Disse har stærkere hvalvede Vindinger end *V. antiqua* typ. og nærmer sig en hel Del til *piscinalis* typ., dog er de saaledes beskafne, at jeg snarere vil henregne dem til den første end til den sidstnævnte Form.

Saalænge man har med store og veludviklede Eksemplarer af *V. antiqua* at gøre, adskilles de let fra *V. piscinalis*, men skal man skulle Unger af *antiqua* fra Voksne eller Unger af *piscinalis* kommer Vanskelighederne. Dog mener jeg, at Unger af de Indi-

<sup>1)</sup> Ogsaa i andre europæiske Søer, hvor *V. antiqua* Sowb. er hyppig, træder *piscinalis* i Baggrunden, saaledes f. Eks. i Vierwaldstattersøen, hvorfra den slet ikke omtales (SURBECK 1899) og i de øvrige bayerske Søer, hvor den er sjælden (CLESSIN 1873).

vider, der udvikler sig til den typiske *antiqua* og til Individder, der tilhører Variationsrække 1, saa godt som altid vil kunne kendes fra Unger af *piscinalis* typ.; det samme gælder ofte for flere henhørende til Variationsrække 2. *Antiqua* Ungerne (Tekstfig. 43) er kendelige ved de svagt hvælvede Vindinger og den lave Søm. Desuden vil de kantede

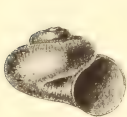


Fig. 42

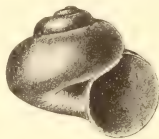


Fig. 43

Fig. 42. Ungt Individ af *Valvata piscinalis* Mull. typ.

Fig. 43. Ungt Individ af Var. *antiqua* Sowb. (Begge  $\times 7$ ).

Vindinger og den kantede Munding stille dem i tydelig Modsætning til Ungerne af *piscinalis* (Tekstfig. 42), hvor Vindinger og Munding er afrundet og Sømmen meget dyb.

Selv om jeg nu har søgt at vise, at man i de fleste Tilfælde kan kende Forskel paa Ungerne af de to Former, *piscinalis* og *antiqua*, har jeg dog ikke til Hensigt at ville sætte nogen skarp Grænse imellem disse eller opfatte dem som selvstændige Arter, hvad mange Autorer jo gør. Tværtimod mener jeg, som ogsaa ovenfor antydet (Variationsrække 2), at der er den jævnest Overgang mellem de to, saaledes at *piscinalis*-Individer, hvis

disse kom under andre Betingelser, meget vel kunde lægge en Vinding paa endnu og derved komme til at ligne Individder hørende til *antiqua*-Variationsrække 2. Jeg maa kun betone, at flere Ejendommeligheder ved de to Former viser sig ret tidlig, i Modsætning til hvad der er Tilfældet med flere andre Snegle f. Eks. *Linnæa onata* og *auricularia*. Medens nemlig Spiret hos de omtalte Linnæer ikke er underkastet videre Forandringer, og Ungerne af de forskellige Varieteter og Former derfor er ret ensartede — Udformningen sker væsentligst, idet sidste Vinding lægges paa —, er dette i ringere Grad Tilfældet med *piscinalis* og var. *antiqua*. Her er allerede Ungerne forskellige, idet Spiret er forskellig bygget hos disse to, og sidste Vinding modificerer kun Udseendet en Del. Da *V. antiqua* er en Varietet, der er typisk for større Søer og sikkert maa tænkes udviklet af *V. piscinalis*, ser man, at Paavirkningen udefra har været ret gennemgribende, idet den har truffet de mindst varierende Dele af Skallen. Et ganske analogt Tilfælde haves i Forholdet mellem *Linnæa stagnalis* var. *subulata* Wstld. og *L. stagnalis* typ., hvor den første ligeledes er en Søform. Ogsaa der har Spiret ved ydre Paavirkning faaet et andet Udseende end hos den alm. *stagnalis*-Form, der kendes fra stillestaende eller lidet bevæget Vand.

Inden jeg gaar over til kortelig at omtale de to andre i Furesøen forekommende *Valvata*-Arter, vil der være Grund til at bemærke, at *V. alpestris* Blaun., der blandt andet findes i de bayerske Søer og skal være en typisk Form for de højere liggende Bjergsøer, ikke er taget i Furesøen. Derimod finder man andre Steder i Landet navnlig i Aaer i Jylland (ved Jegerum, Gudenaas) en *piscinalis*-Form, der ganske svarer til *alpestris*, med cylindriske Vindinger, meget vid Navle og sidste Vinding lige heftet til eller endog løst fra næstsidste. Fra den første Lokalitet<sup>1)</sup> har jeg blandt Tusinder af Eksemplarer kunnet finde en fuldstændig jævn Overgang fra høje *antiqua*-lignende Former (omtrent som et af de mindre Eksemplarer i Variationsrække 2 (*V. antiqua*) fra Furesøen) gennem typiske *piscinalis* til *alpestris*. Nogle af de sidstnævnte har meget lavt Spir og særdeles stor kreds-

<sup>1)</sup> Eksemplarerne er taget af H. SELL.

rund Munding, ligner altsaa meget *V. macrostoma* Steenbuch, saaledes at det er nemt forstaaeligt, at BOLLINGER (1909, pag. 166) nærer stor Tilhøjelighed til at inddrage *V. pulchella* Stud. (og altsaa dermed den identiske eller i alt Fald meget nærstaaende *V. macrostoma* Steenb.) som en Varietet under *V. piscinalis*. Flere og flere Forskere [saaledes JICKELI, KOBELT (ROSSMÄSSLERS Iconog. N. F. XV Bd., pag. 14), THIELE (1909) og BOLLINGER (1909)] er i de senere Aar gaaet over til den Anskuelse, at alle de mange indenfor *piscinalis*-Gruppen opstillede Arter: *V. antiqua* Sowb., *contorta* Menk., *pusilla* Müll., *fluvialilis* Colb., *obtusa* Brard., *alpestris* Blaun. o. s. v. maa inddrages under samme Art, nemlig *V. piscinalis*, og at de højst kan opfattes som Varieteter; nogle af »Arterne» er endog opstillet paa unge Individuer af *piscinalis* eller dens Varieteter. Nu melder altsaa ogsaa den Tanke sig om *pulchella-macrostoma*, der endog henføres under en anden Underslægt, *Tropidina* H. o. A. Adams, ogsaa skal føjes ind under *V. piscinalis* (se THIELE og BOLLINGER); maaske kan dette Spørgsmaal løses ad anatomisk Vej. I Furesøen findes i alt Fald ingen Overgangsformer mellem *V. piscinalis* og *macrostoma*.

*Valvata macrostoma* Steenbuch (T. 3, Fig. 53—56).

Ligesom i andre større Søer er denne Snegl ret sjælden og sporadisk forekommende. Den er fundet ved Bredden paa beskyttede Steder, saaledes ved Frederiksdal og Fiskebæk og gaar sikkert ikke ret langt ud; ved Skrabning blev den derfor ikke taget i levende Eksemplarer. Som Skaller fandtes den kun paa 2 Stationer (1 Individ paa hvert Sted) paa 5 og 8½ m (Fiskebæk og Store Kalv). — Mærkværdigt nok synes denne Art i Vättern og i Vierwaldstättersøen at gaa langt ud, nemlig til 20—21 m, den er altsaa dér ikke begrænset til Bredden.

*Valvata cristata* Müll. (Tekstfig. 44—46).

Inde ved Bredden, til Dels i Selskab med foregaaende, finder man denne vor mindste *Valvata*-Art ret hyppig. Paa dybere Vand er den derimod langt sjældnere; ved Skrabning har jeg kun to Gange taget den levende (Store Kalv 2—4 m, Nordøstkysten i et Træk, der gik fra 2½—10 m). Da den imidlertid ikke blev taget i flere Skrabninger paa 3, 4 og 5—6 m, maa Ydergrænsen sættes til 2½ à 3 m. — Tomme Skaller er derimod skrabet paa mange Stationer og ofte i stort Antal (i indtil 100 Stk. i hver Prove). Hyppigst var de mellem 5 og 13 m. Udenfor dette Bælte har A. C. JOHANSEN taget Skaller paa 18 m, 23 m og 25 m. Individerne har et ret ensartet Udseende; kun en enkelt Gang er fundet et skalarid Eksemplar.



Fig. 44—46. *Valvata cristata* Müll.  $\times 6.5$ .

### Acephala.

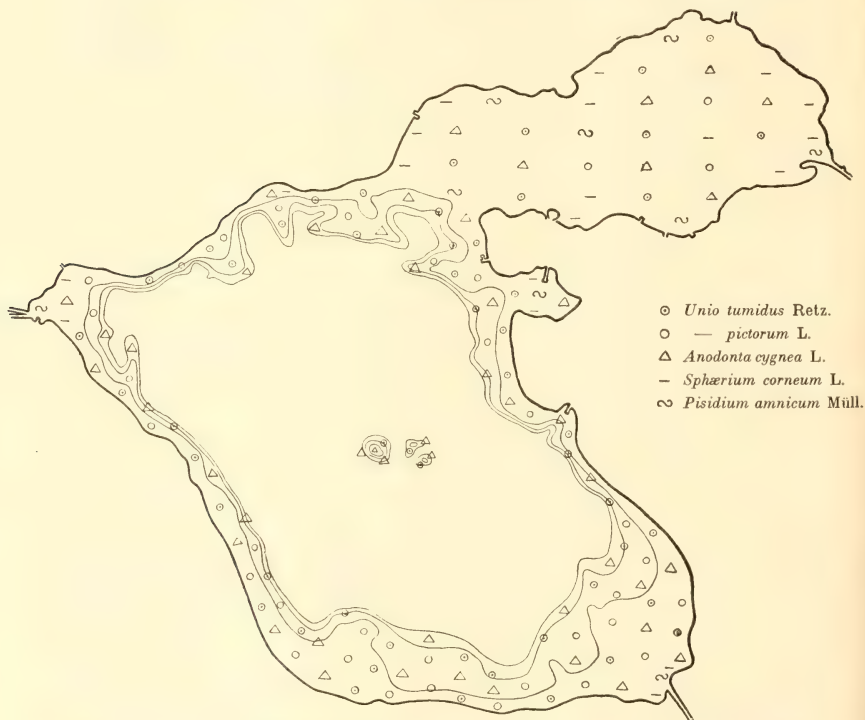
*Unio pictorum* L. (Tavle 5, Fig. 1—12, T. 6, Fig. 1—6).

Det er langt den sjældneste Unionide i Furesøen. Den forekommer altid sammen med den følgende Art, men som Regel langt mere sparsomt. Kun paa faa Stationer er den fundet i et Antal af 9—12, oftere i mindre Antal. Den gaar temmelig langt ind,



kan saaledes ses paa ca. 1 m Vand; med Skraber er den taget paa Dybder fra 2—9 m. Ogsaa som Skaller, hele eller Brudstykker, skrabes den langt sjældnere end *U. tumidus*. Udbredelsen af Skallerne omtales for de to Arter under ét.

*Unio pictorum* L. varierer nok noget, men knap saa meget som *U. tumidus* Retz. Til den typiske Form (Tavle 5, Fig. 1—2) maa henføres Individuer, der fortil er jævnt



Kort IV visende den bathymetriske Udbredelse af *Unio*, *Anodonta*, *Sphaerium* og *Pisidium amnicum*.  
Kurver: 5—9—11 m.

afrundede, bagtil regelmæssig tungeformet udtrukne, saaledes at Skallens Længdeakse falder omtrent midtvejs mellem Over- og Underrand. De har en lige Overrand og en lige eller svagt buet Underrand samt en Vinkel mellem Over- og Bagrand paa ca. 160—170°. Saadanne Eksemplarer er meget sjældne i Furesøen. Naar man træffer *pictorum* med denne Form, viser det sig næsten altid at være mindre Individuer med gul Farve

og tydelig markerede, brune Tilvækstlinier (7—8 paa de største Eksemplarer). Højden af Skallen er altid ringe i Forhold til Længden (Forholdet er 2,3—2,5). — Langt hyppigere er Eksemplarer, der har et ejendommeligt, firkaarent Udseende (Tavle 5, Fig. 3—7) (*longirostris* Z. Rossm. Icon. Nr. 200). Hos disse er Formen rhombedannet, undertiden endog trapezoedrisk (Fig. 8) med parallel Over- og Underrand og meget lang bageste Del. Forholdet mellem bageste og forreste Halvdel er 3,5. Ved det bageste Dorsalhjørne bøjer Skaranden meget brat nedefter, under en Vinkel med Rygkanten paa 140—150°. Da Skallens Længdeakse tillige ligger meget nær ved Skallens Underrand, kommer »Næbspidsen« omtrent til at ligge i Underrandens Forlængelse eller kun lidt over denne. Fra den langstrakt rhomboedriske Form findes nu jævn Overgang til de med »Næb« forsynede (»geschnabelte«) Former (Tavle 5, Fig. 9—12, Tavle 6, Fig. 1—5), hvor Underranden i den bageste Halvdel bliver buet, og hvor hele den bageste Skaldel bøjes nedefter; samtidig plejer Vinkelen ved det bageste Dorsalhjørne at udviskes, saaledes at Rygkanten i en jævn Bue gaar over i Bagranden. Der findes Individer med kort og med meget langt Næb. Saadanne Former kendes ogsaa fra andre Søer (*U. arca* Held og *platyrhynchus* Rossm. fra sydtyske og schweiziske Søer); de blev længe betragtet som Former, der var særegne for Søer med stærkt bevæget Vand; de skal dog ogsaa kunne forekomme paa Steder, hvor der er fuldkommen Ro i Vandet, f. Eks. som Reaktionsform af den i Dyndbund levende *U. limosus* Nilss. (Rossm. Icon. N. F. 6. Bd. Nr. 1024—27). Disse med nedadbøjeet Næb forsynede Former fra Furesøen har altid en stor Del af Skallen ragende op over Bunden, og denne frie Del er da overtrukket med et tykt Lag Kalk (Tavle 6, Fig. 1, 2) og har ofte en tyk Bevoksning af traadformede Alger (Tavle 5, Fig. 12). Maaske har disse ved at dække for Ind- og Udstrømningsaabningerne direkte eller indirekte pirret Kapperanden, saaledes at Væksten af Skallen bagtil blev stærk og unormal. At Algebevoksningerne kan fremkalde lignende ejendommelige, men endnu mere udprægede Former, er vist af Dr. KOBELT.

Fra den firkaarne, rhomboedriske samt fra den typiske Form er der Overgang til en fjerde Form, repræsenteret ved mindre, tykke, brede og korte, mere ovale Individer (Tavle 6, Fig. 6); disse er dog ret sjældne. — Hos de sidst omtalte Former er Farven mørkere, brunlig.

Hængslet er hos alle 4 Former typisk, med ringe udviklet bageste Laastand i venstre Skæl.

*Unio tumidus* Retz. (T. 7; T. 8, Fig. 1—7).

Dette er Furesøens mest almindelige Unio. Den er taget paa saa godt som alle Lokalteter fra 9—10 m og indefter, ofte i ret stort Antal (20—60 Stk.) paa hver Station. — Unio-Skaller, hele og Brudstykker, er overordentlig almindelige i Søen, særlig i et Bælte fra 3 å 4 til 13(15) m. Ofte er de fundet i ret stort Antal uden for de levende Dyrs Omraade, nemlig paa 10—13(15) m; paa disse Steder er de ofte kridtagtige eller omdannet til Brunjærsten.

Artens Variation er ret betydelig. Den typiske, meget langstrakte Form (saaledes som den kendes fra Lundehusøen, PFEIFFER 1821—28, Taf. VII, Fig. 3) er ikke taget i Furesøen<sup>1)</sup>, ej heller den høje, forholdsvis korte Form (GEYER 1909, T. XV, Fig. 4—6).

<sup>1)</sup> I 1914 fandt jeg dog et Eksempel (Tavle VIII, Fig. 6), der ligner den en Del, men paa anden Side ogsaa har Træk fælles med *U. conus* Spengl.

som i Tyskland i Almindelighed anses for at repræsentere Typen. Begge disse har nemlig en meget stærkt buet Underrand, hvorimod der for Hovedmængden af Furesø-Formerne er det fælles, at Underranden er lige eller endog svagt indadbuet paa Midten. Der findes vel enkelte Individider med forholdsvis stærkt buet Underrand, der altsaa nærmer sig Typen, men disse er sjældne. Meget almindelige er Individider, der kan henføres til følgende 4 Former:

1. *Unio cornu* Spengler (HAAS 1913, pag. 57, Tab. III, Fig. 2<sup>1)</sup>, (Tavle 7, Fig. 1, 2, 4). Hertil regnes middelstore Individider med jævnt buet Overrand og stærkere eller svagere buet Underrand. Partiet bag Hvirvlerne er langt, Skallens Længdeakse beliggende midt mellem Over- og Underrand og »Næbbet« symmetrisk, jævnt tilspidset fra begge Sider. Overfladen er smukt ensfarvet olivengrøn med tydelige, brede, brune Tilvækststriber. Derfra er der jævn Overgang til

2. den *pictorum*-lignende Form (T. 7, Fig. 6, tildels ogsaa Fig. 3, 5, 7 og 8). Her er Over- og Underrand parallelle, den sidstnævnte svagt indadbuet, den førstnævnte lige, dannende en tydelig stump Vinkel med Bagranden, den bageste Del af Skallen langstrakt-tungeformet. Farven er som hos foregaaende, maaske lidt mere gullig. At vi her har med en *tumidus* at gøre og ikke med en *pictorum*, viser Hængslet, idet bageste Tand i venstre Skal er ret kraftigt udviklet, samt Udseendet af Umbonerne. Skulpturen paa disse (Tavle 8, Fig. 7) bestaar af Knuder, der er zigzag-agtig forbundne ved tydelige fine Lister. Ligeledes er de Kanter, der begrænser Skjoldet udprægede, og den stærke Opsvulmning lige umiddelbart bag Hvirvlerne samt den stærkt og ret hurtigt afsmalnende bageste Skaldel (Tavle 8, Fig. 3) viser ogsaa tydelig hen til *tumidus*. En anden Forskel mellem *tumidus* og *pictorum* er værd at fremhæve. Man finder undertiden indenfor den førstnævnte Art lignende firskaarne Former (Tavle 7, Fig. 7, 8) som hos den sidstnævnte, idet Bagranden danner en tydelig Vinkel med Overranden; men denne Vinkelspids findes hos *pictorum*-Formen betydelig længere bagtil end hos *tumidus*-Formen.

3. Den ovale Form (Tavle 7, Fig. 9, 10; Tavle 8, Fig. 2). Ret hyppige er smukke store ovale eller langstrakt-ovale Eksemplarer med svagt buet Underrand og stærkere krummet Overrand, der i en jævn Bue gaar over i Bagranden. »Næbbet« er hos disse bagtil bredt og er ikke afsat fra den øvrige Skal. Først ved Betragtning fra Rygsiden — naar man ser det opsvulmede Skalsparti omkring Umbonerne og den stærkt afsmalnende bageste Skaldel — faar man Indtryk af, at man har med en *tumidus* at gøre; men ogsaa en Del af Karaktererne, hentede fra Rygsiden af Skallen, er udvikede; saaledes er Kanterne, der begrænser Skjoldet, lidet fremtrædende og afrundede og Umbonerne korroderede, saa at disse ikke afgiver Kendetegn. Med Hensyn til Farven ligner denne Form heller ikke *tumidus*, idet denne ofte er grønlig og har radiære grønne Straaler, medens Skallerne hos disse Individider har en smuk, mørk kastaniebrun Farve. Hængslet er derimod et meget typisk *tumidus*-Hængsel med kraftige Tænder. Skallerne er tykke, solide og meget tunge. Ligesom hos forrige Art finder man her

4. en Form med nedadbojet »Næb« (Tavle 8, Fig. 1, 5). Denne er udviklet af den lige omtalte ovale Form og afviger fra denne kun ved sin nedadbojede bageste

<sup>1)</sup> De paa SPENGLERS Originalstykke siddende indtørrede Legemer, som F. HAAS tyder som indtørrede Insektæg, er meget tydelige og let kendelige Æggehobe af *Bythinia tentaculata* L.

Skaldel og ved sin indadbuede Underrand. Mindre høje, langstrakte Individer med grøngule Skaller forekommer ogsaa.

Man finder endvidere anderledes udseende Individer, f. Eks. med ganske vindskæve, usymmetriske Skaller (Tavle 8, Fig. 4). Saadanne enkeltvis forekommende Eksemplarer maa betragtes som Monstrositeter. Efter al Sandsynlighed har disse siddet indeklemt mellem Sten.

*Anodonta cygnea* L. [= *mutabilis* Clessin] (Tavle 5, Fig. 9—10;  
Tavle 8, Fig. 8—10).

Af de i Furesøen forekommende Individer kan de fleste henregnes til Formen *macula* Shepp. (= *maculata*). Furesøformen er af MÖRCH (1863, pag. 351) bestemt saaledes, og den svarer ogsaa ganske til en Fig., givet af LOCARD (1893, pag. 304, Fig. 292), der bærer denne Betegnelse, samt til BOURGUIGNATS Beskrivelse (1880—81, pag. 285). Skallen har et ret karakteristisk Udseende. Den er rhombeformet, med høj, fortil stærkt skraaende Overrand, der danner en udpræget Vinkel med Bagranden. Denne Vinkels Spids rager stærkt frem og er beliggende omtrent lige langt fra For- og Bagranden, saaledes at Skallen faar sin største Højde omtrent paa Midten. Skjoldet er højt og stærkt sammentrykt. Hvirvlerne ligger langt fortil, og den forreste Del af Skallen indtil disse er derfor ganske kort og afrundet. — Furesø-Eksemplarerne danner en Mellemform mellem *A. anatina* L. og *A. lacustrina* Cless., men nærmer sig maaske snarere til den første, idet de ikke har faaet saa tykke Skaller og den særlige Udformning, der karakteriserer *A. lacustrina* Cless. fra de bayerske Søer (Clessin 1884, Fig. 359). For Resten er Furesø-Anodonerne ikke uforanderlige, idet der fra den høje, typiske *macula*-Form (Fig. 8) findes jævn Overgang gennem ovale Individer (Fig. 9) til meget langstrakte Eksemplarer (Fig. 10), svarende til BUCHNERS *A. lacustrina oviformis longirostris* (B. 1900, Taf. IV, Fig. 9). Desuden findes der Overgangsformer til *A. piscinalis* Nils.<sup>1)</sup> Ejendommeligt for alle Furesøanodonerne er den ringe Størrelse. Det største Individ (f. *macula*), jeg har taget, maaler 68 mm i Længden, 45 mm i Højden og 24 mm i Tykkelse.

Næsten paa alle Stationer, hvor der ved Skrabning er taget *Unio*, er ogsaa fundet Anodoner, dog aldrig i særlig stort Antal, højest 13—16 paa hver Station. I Store Kalv under Characee-Bevoksningerne er taget meget faa Individer, og det samme er Tilfældet paa enkelte andre Steder af Søen, nemlig paa Sydkysten og syd for Fiskebæk paa 8½—11 m. Ydergrænsen maa sættes til 10—11 m. Hele Skaller og Fragmenter er mange Steder skrabt i stor Mængde, ligesom *Unio*-Skallerne indenfor et Bælte paa 4—13(15) m.

*Sphærium corneum* L. (Tavle 6, Fig. 15,16).

Kun i Store Kalv har jeg taget *Sphærium* med Skraberne, i Dybder paa 2—4(5) m, aldrig dog i stor Mængde (højest 20 Stk.). Paa Bredden, hvor der er Læ og Dyndbund, er den hyppigere, f. Eks. ved Frederiksdal og Fiskebæk. Den almindeligste Form synes mig at være *mamillanum* Westld., dog angiver A. C. JOHANSEN (1899) ogsaa *scaldianum* Norm. og H. SELL var. *nucleus* Stud. De tomme Skaller findes sjældn i Sigtproverne. Fra 6 Stationer (2—9 m) haves den typiske Form og var. *mamillanum*, men kun i enkelte

<sup>1)</sup> Lignende Overgangsformer er fundet af O. BUCHNER. En Oversigt over Variationen hos *Anodonta* gives i hans udmærkede Arbejde, Side 204.

Eksemplarer, og disse var endda stærkt medtagne. Flere Skaller opskylles paa Land, men Hovedparten opløses sikkert, hvor de bundfældes. I det hele synes *Sphaerium* at være sjælden i Furesøen i Modsætning til i Farum Sø, hvor jeg gentagne Gange har skrabet den paa Bankerne i store og smukke, levende Eksemplarer. I Kanalerne, der udgaar fra Furesøen, er den ligeledes særdeles hyppig.

*S. (Calyculina) lacustre* Müll. har jeg aldrig fundet, hverken død eller levende i Furesøen. H. SELL (1901) angiver 7 mm store Eksemplarer fra Bugten ved Frederiksdal tagne paa  $\frac{1}{2}$  m Vand mellem *Phragmites*, og C. A. WESTERLUND anfører *S. (Calyculina) ryckholti* Norm. var. *danicum* Clessin fra Furesøen (1897, pag. 149).

*Pisidium amnicum* Müll. (T. 4, Fig. 15—18).

Denne vor største *Pisidium*-Art hører hjemme inde paa lavt Vand paa Steder, hvor der er roligt; dog har jeg i Store Kalv skrabet enkelte Eksemplarer paa dybere Vand, 4—5 m. H. SELL angiver ogsaa at have taget den i 1 Eksempel i 5 m's Dybde, paa Øst siden af Søen. I ret stort Antal kan den findes i Kanalen mellem Furesø og Farum Sø. De tomme Skaller kan man samle paa Bredden, men man tager ogsaa ret ofte saadanne ved Skrabning, om end ikke i stor Mængde, højst 5—6 Stk. i hver Prøve. Dybderne, hvorpaa disse findes, er 2—11 m.

*Pisidium casertanum* Poli (T. 4, Fig. 11—14; T. 6, Fig. 17, 18).

Det er den *Pisidium*-Art, der har den største Udbredelse i Furesøen, idet den egentlig findes overalt. Den optræder kun faatallig og i smaa Eksemplarer inde ved Kysten (paa 0,2—1 m), men Tallet stiger jævnt udadtil, og paa de større Dybder, 30—36 m, kan man endog i een Skrabning tage 50—150 Individuer. Ret sjælden træffer man den derfor i Store og Lille Kalv, naar lige undtages den aller yderste Del af disse Bugter. — Arten optræder under 3 forskellige Former. I selve det dybe Furesø-Bassin findes foruden den typiske Form (T. 4, Fig. 14) en meget tykskallet Variant (T. 6, Fig. 17, 18), der nærmer sig til *P. supinum* med Hensyn til Form og Hængsel. Den er nemlig tykskallet, ret høj og noget trekantet af Form og har et tykt, kraftigt Hængsel. Det er den samme Form, der er fundet af H. LYNGE i Lyngby og Bagsværd Sø og er afbildet af B. B. WOODWARD (1913, Pl. XV, Fig. 20 e. g.). I Modsætning til den typiske Form, der ogsaa kan findes i mindre Vandsamlinger, træffes denne kun i Søer (Esrom Sø, Farum Sø, Maribo Sø, Sortedamsøen). Den tredje Form er f. *lacustris* B. B. Woodward; hos denne er Artskaraktererne lidet udprægede, idet Skallerne er tynde og mere afrundede end hos Hovedformen, Hængslet smalt, tyndt og uden den skarpe Bøjning i højre Skal, som findes hos den typiske Form. Den har jeg skrabet i ringe Antal i Store Kalv paa 2—4 m's Dybde.

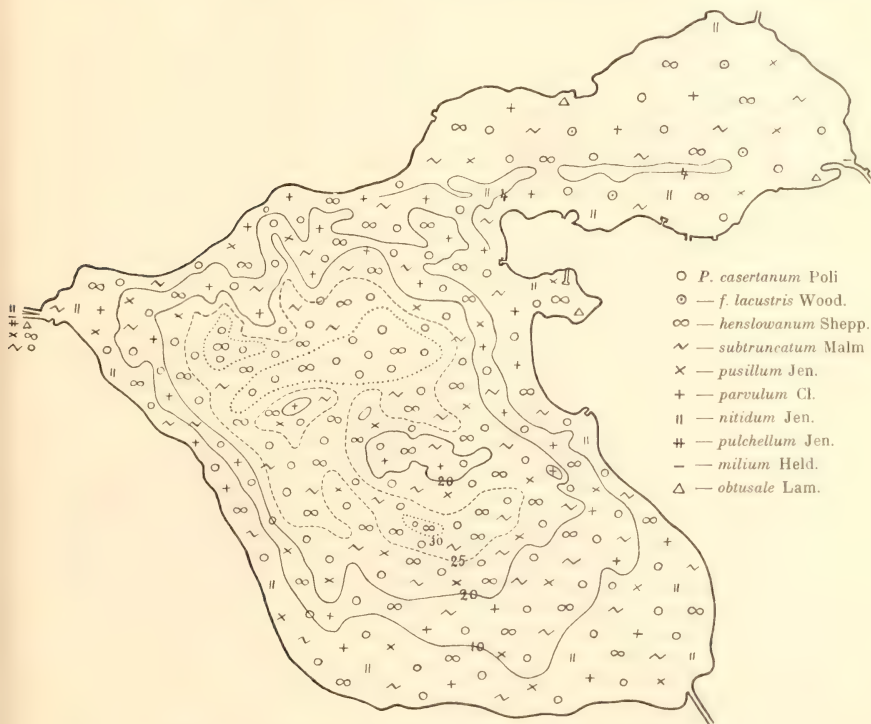
De tomme Skaller af *P. casertanum* findes spredt overalt i Søen, i størst Mængde dog i Skalbæltet.

*Pisidium henslowanum* Sheppard (T. 6, Fig. 21—24).

Ligesom den foregaaende Art er denne ret jævnt udbredt i Søen. Den synes tillige at forekomme i mindre Tal paa lavt Vand end paa dybt; saaledes er den kun taget paa faa Steder i Store og Lille Kalv og altid i enkelte Eksemplarer; det er tillige oftest smaa



Individer, der findes dér. Der er dog den Forskel paa de to Arter, at Individantallet af *P. henslowanum*, naar man kommer til ca. 30 m's Dybde, igen aftager betydelig, hvilket ikke er Tilfældet med *P. casertanum*. I 36 m's Dybde fandtes saaledes over 100 Individer af *P. casertanum*, men kun et Par Individer af *P. henslowanum*. Arten varierer



Kort V visende den bathymetriske Udbredelse af *Pisidierne* i Furesøen.  
Kurver: 4—10—20—25—30 m.

ikke meget; nogle Gange er der fundet Individer, der helt mangler de to ejendommelige skæve Folder paa Buklerne: Forma *inappendiculata*.

*Pisidium subtruncatum* Malm (T. 6, Fig. 7—12).

Findes i alle Dybder fra  $\frac{1}{5}$ —30 m. I Modsætning til de to foregaaende er den ret hyppig inde paa lavt Vand, saaledes i Store og Lille Kalv. I størst Mængde (25—50

Stk. i een Skrabning) er den taget i 4—5 m's Dybde i disse to Bugters Munding. — Den varierer meget lidt i Form. Ungerne afviger en Del fra de voksne, idet den forreste Del af Skallen hos disse ikke er saa afrundet som hos de voksne; der er nemlig en ret tydelig Kant paa Overgangen mellem Dorsalrand og Forrand.

*Pisidium parvulum* (Clessin) B. B. Woodward (Tekstfig. 47).

20 m er Ydergrænsen for denne Art. Ellers findes den paa alle Dybder fra ca. 1 m og udefter. Paa flere Stationer mellem 2 og 13 m har jeg skrabet den i ret betydelig Antal (ca. 50 Stk. i hver Skrabning); desuden er den ret jævnt fordelt over Bunden, idet den saa godt som altid fandtes paa de Stationer (indenfor 20 m), hvor der overhovedet blev taget *Pisidier*. Det er en lidt variabel Art; den hører paa Grund af sin ringe Størrelse, sine korte, lidt firkantede Skaller og den lille Fold, der løber nedenfor hver af Buklerne i Vækstliniernes Retning, til de lettest kendelige *Pisidier*.

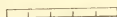


Fig. 47. *Pisidium parvulum* (Cl.) B. B. W.  
(efter Fotografi).  
Maalestocken i halve mm.

*Pisidium pusillum* (Gmelin) Jenyns (Tekstfig. 48—49).

Det er kun i smaa og meget tyndskallede Eksemplarer, at denne Musling findes i Furesøen. Disse Eksemplarer er ganske overordentlig forskellige fra de forholdsvis store og tykshallede Individer, der findes i Furesøens Afløb, Molleaaen. — Som Regel findes Arten kun i ringe Antal; men enkelte Steder i Søen kan de dog blive talrige, i en Prøve fandtes saaledes over 100 Eksemplarer. Den synes i selve Furesøen at ynde Dybder paa 2—5 m. Udenfor 10 m Kurven findes den, men kun i ringe Antal. Ydergrænsen er ca. 25 m. En enkelt Gang er den dog taget paa 30 m.

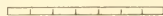
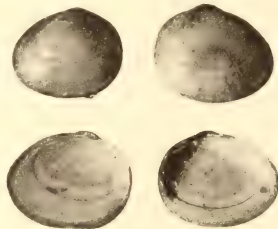


Fig. 48. *Pisidium pusillum* Jen.  
(efter Fotografi).  
Maalestocken i halve mm.

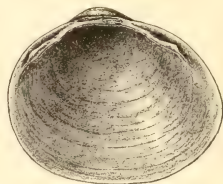


Fig. 49. *Pisidium pusillum*  
Jen.  $\times 15$ .

*Pisidium nitidum* Jenyns (Tekstfig. 50).

Det gælder for *P. nitidum* ligesom for *P. pusillum*, at Individerne i Furesøen er meget smaa og tyndskallede, og at Hængselpladen er svag, saaledes at Artskarakterne, hvad Hængslet angaar, bliver noget udviskede. Flere Eksemplarer af *P. nitidum* ligner

af den Grund paafaldende *P. pusillum*. Begge disse Arter har ikke Betingelser for at kunne udvikle sig rigtig i de større Søer; de hører til i Aær og i mindre Vandsamlinger, hvor Vandet er mere roligt. Mr. B. B. WOODWARD har meddelt mig, at noget lignende er Tilfældet i de engelske Søer. Saaledes forekommer de to ovenfor nævnte Arter i de større skotske Søer i lignende smaa og daarlig udviklede Individer, der er vanskelige at bestemme, som hos os. — I Kanalerne, der gaar til Furesøen bliver Individerne bedre udviklede og er lettere at kende; der findes denne Art i stort Individantal. I selve Furesøen forekommer den derimod kun i ringe Antal, jeg har den fra en halv Snes Stationer (hver kun med 2—5 Individer). Den gaar ud til 10 m's Dybde.

*Pisidium obtusale* (Lam.) Jenyns.

Denne Art er sjælden i Furesøen. Jeg kender den kun fra 6 Stationer. Den lever paa Dybder af indtil 3(4) m. Findestederne er Store og Lille Kalv. En enkelt Gang har jeg taget den ved Kollekolle-Kysten.

*Pisidium pulchellum* Jenyns (T. 6, Fig. 19, 20).

Dr. A. C. JOHANSEN (1899) anfører denne Art fra Furesøen. I selve Søen har jeg aldrig fundet den, derimod i flere Eksemplarer i Kanalen mellem Farum og Furesø; derfor vil den sikkert kunne findes i Fiskebækbugtens inderste Del.

*Pisidium milium* Held (T. 6, Fig. 13, 14).

Findes i ret stort Antal i Kanalerne, derimod har jeg ikke taget den i selve Furesø-Bassin. SELL (1901) angiver at have fundet 4 levende Eksp. i den sydlige Del af Søen paa 4—6 m. Det er dog tvivlsomt, om dette er rigtigt.

Af andre Pisidiearter er fra Furesøen anført *P. globulare* Clessin og *P. supinum* A. Schmidt (Johansen 1899, Sell 1901). Den sidstnævnte findes ikke i Furesøen; den er sikkert opstillet paa den tykskallede, trekantede Form af *P. casertanum*. Den førstnævnte Art er synonym med *P. steenbuchii* Møller; denne har jeg aldrig fundet i Furesøen og betvivler derfor dens Eksistens, i al Fald i selve Furesø-Bassin.

*Dreissensia polymorpha* Pallas (Tekstfig. 51).

Ifølge Meddelelse fra Mag. sc. BARDENFLETH er Vandremuslingen fundet i Furesøen ved Undersøgelser, som han foretog i Sommeren 1915. Da den absolut ikke har været i Søen (i blot nogenlunde stort Antal) i 1913, da jeg foretog mine talrige Skrabninger, kan altsaa Tidspunktet for dens Indvandring ret sikkert fastsættes. I 1916 fandt jeg den siddende, fastheftet ved sin Byssus, paa næsten alle faste Genstande i Søen, paa Pæle, Pinde, Sten og døde Muslingers Skaller. Ja selv de levende Muslinger var ofte fuldstændig bedækkede med *Dreissensia* paa den bageste Del af Skallerne, der ragede frit frem. At den i saa kort Tid har kunnet brede sig over hele Søen og ind i dens Kanaler skyldes den Omstændighed, at den har fritsvømmende Larver. Den er sikkert ind-

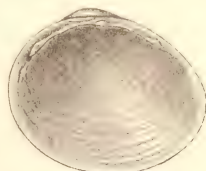


Fig. 50. *Pisidium nitidum* Jen.  $\times 15$ .

ført fra Søerne i København, hvor den findes ret hyppig, dog langt fra saa almindeligt som tidligere. — Med Hensyn til den Dybde, hvortil *Dreissensia* gaar, kan jeg angive, at den er taget i Furesøen paa alle Dybder fra ganske lavt Vand inde ved Bredden til 30 m; muligvis kan den ogsaa findes paa endnu dybere Vand. I de nordtyske Søer gaar den ud til 40 m.



Fig. 51. *Dreissensia polymorpha* Pall. paa *Unio tumidus* Retz. og paa en Plantestængel.  
(Efter Fotografi; nat. Størrelse).

## Molluskbælterne og Skallejringerne.

Som allerede nævnt i Indledningen har vi om dette Thema to ældre Arbejder, nemlig af WESENBERG-LUND (1901) og af A. C. JOHANSEN (1902). Der skal i det følgende gives en kort Fremstilling af de Hovedresultater, hvortil disse to Undsøgere er kommen, og samtidig angives, hvorledes de foreliggende Undsøgelser stemmer dermed, og paa hvilke Punkter der er Uoverensstemmelser.

WESENBERG-LUND undersøger i sit Arbejde: »Studier over Søkalk, Bønnemalm og Søgytje i danske Indsøer«, først den bathymetriske Udbredelse af de hyppigst forekommende Mollusker og deres Skaller i vore større Søer og kommer da til det Resultat, at man i selve Furesøen<sup>1)</sup> (ligesom i alle andre større Søer, hvis Dybde er over 15 m) kan skelne mellem 3 Bælter<sup>2)</sup>:

1. Et Vegetationsbælte, hvori der kun findes faa Skaller aflejret, da de bundfældede Skaller let destrueres, dels derved at Bevægelse i Vandet (Bølgeslag, Strømninger) bevirker, at Skallerne slides og knuses, dels ved Planternes opløsende Virksomhed.

2. Et Skalbælte, hvori mægtige Aflejringer af Molluskskaller findes. Bæltet strækker sig fra 8—11 m. Skallerne bestaar overvejende af *Anodonta* og *Unio*-Skaller, men ogsaa af *Valvata* og sjældnere *Bythinia*. Disse Dyr lever alle i Skalbæltet, og Aflej-

<sup>1)</sup> Der ses her bort fra de paa Bredden aflejrede Skaller samt fra de i Bugter og Vige levende Mollusker.

<sup>2)</sup> I »Die littoralen Tiergesellschaften unserer grösseren Seen« giver WESENBERG-LUND (1908—09) en Inddeling efter Dyreselskaber for en stor Del baseret paa Undsøgelser foretaget i Furesøen.

ringerne i dette maa tænkes dannet næsten udelukkende af de Mollusker, der har levet paa Stedet og er bundfældet der. Skaller af Snegle, der er Bredformer (*Planorbis*, *Limnæa* og *Neritina*), og som i ringe Mængde er transporteret ud i Skalbæltet, spiller en ganske underordnet Rolle.

3. Et Dybvandsbælte uden for 15 m, hvori der af levende Mollusker kun findes *Pisidier* og iøvrigt blot spredte Molluskskaller.

WESENBERG-LUND er den første, der har paavist Skalbæltets almindelige Forekomst i Søer, hvis Dybde er større end 14—15 m, og som har gjort udførlig Rede for dets Tilblivelse. Han viser, at der er et tilsyncladende Misforhold mellem Mængden af levende Mollusker i Skalbæltet og de deri forekommende Skaller, og at dette skyldes den Omstændighed, at Betingelserne for Opbevaringen af Skallerne er gunstige. Der er Ro, saaledes at de ikke udsættes for Slid og Knusning, og der er ingen oplosende Faktorer (Planter o. l.). Mollusklivet virker under de rolige Forhold, som hersker i Skalbæltet, som en stærk lokaliseret bundhøjnende Faktor (W-L.). Derfor er der ogsaa stor Sandsynlighed for, at de Fiskebanker, der i ret stort Tal findes i den indre Del af Skalbæltet, er fremkomne ved Aflejring af Molluskskaller. Om de helt eller kun delvis er dannet af Skaller kan kun afgøres ved Boringer (Se nærmere herom W-L., p. 28).

Det andet Bidrag til Forstaaelsen af Søbundens Aflejringer og dens Molluskliv er givet af A. C. JOHANSEN (1902): »Om Aflejringer af Molluskernes Skaller i Indsøer og i Havet». Forfatteren angiver først Udbredelsesomraadet i Furesøen for en stor Række Mollusker, baade for de levende Dyrs og for Skallerne Vedkommende. Disse Angivelser, der er mere udførlige end i WESENBERG-LUNDS Arbejde, svarer gennemgaaende til mine. For en Del Arters Vedkommende maa jeg dog sætte Grænsen for de levende Dyrs Udbredelse lidt længere ude end A. C. JOHANSEN; for *Unio* og *Anodonta*'s Vedkommende er det omvendte Tilfældet:

Efter A. C. JOHANSEN      Efter egne Undersøgelser

|   |        |                                     |
|---|--------|-------------------------------------|
| <i>Bythinia tentaculata</i> . . . . .       | c. 8 m | 9—10 m                              |
| <i>Valvata piscinalis antiqua</i> . . .     | 11 -   | 13 -                                |
| — <i>cristata</i> . . . . .                 | c. 2 - | 2½—3 -                              |
| [ <i>Planorbis albus</i> . . . . .          | 5 -    | 5—8 - (Kun en enkelt Gang ved 8 m)] |
| <i>Sphaerium corneum</i> . . . . .          | 3 -    | 4(5) -                              |
| <i>Unio tumidus</i> + <i>piclorum</i> . . . | 11 -   | 9—10 -                              |
| <i>Anodonta cygnea</i> . . . . .            | 12 -   | 10—11 -                             |

For *Anodonternes* Vedkommende sætter WESENBERG-LUND, samstemmende med A. C. JOHANSEN, Grænsen længere ude, end jeg har gjort, nemlig ved 13 m, men bemærker, at det her kun drejer sig om enkelte Individuer. Jeg har dog aldrig taget disse under saadanne Omstændigheder, at jeg med Sikkerhed kan angive en større Udbredelse end 11 m, men vil derfor ikke benægte, at enkelte Individuer kan gaa længere ud.

Paa en lignende Maade som WESENBERG-LUND sonderer A. C. JOHANSEN mellem et Antal Bælter, hvori der lever forskellige Mollusker, eller hvori forskellige Skaller af-



lejres. Som det vil ses af efterfølgende Skema, adskiller dette sig fra WESENBERG-LUNDS væsentligst derved, at Skalbæltets Ydergrænse er flyttet fra 11 m til 14 m.

1. Bredden, hvor de opskyllede Skaller findes. Der paavises, at Limnæerne (*L. auricularia*, *L. ovata* var. *inflata*) kommer fra de Steder, hvor disse Dyr har deres Maksimumshyppighed, nemlig fra ca. 2—5 m.
2. De smaa Bugter ved Bredden. Her har Lungesneglene Overvægt, baade hvad Arts- og Individantal angaar.
3. Vegetationsbæltet. Ydergrænsen 8 m. For Skallernes Vedkommende har Gællesneglene — med Hensyn til Individantal — Overvægt over Lungesneglene. Desuden er det store Antal *Bythinia*-Laag karakteristisk for Bæltet. For de levende Dyrs Vedkommende faar Gællesneglene først Overvægten paa 5 m's Dybde.
4. Skaldyngernes Bælte. 8—14 m. Dette er karakteriseret ved de talrige Skaller af *Valvata piscinalis antiqua* og i den indre Del af Bæltet tillige ved *Anodonta* og *Unio*; hist og her findes talrige *Bythinia*-Laag. *Valvata pisc. antiqua* træffes kun rent undtagelsesvis i Bæltets indre Del og slet ikke i den ydre.
5. Dybsøbæltet udenfor foregaaende Bælte. Her træffes af levende Mollusker kun *Pisidier*. Skaller træffes af flere Sneglearter, ogsaa af saadanne, der kun lever i *Scirpus-Phragmites*-Bæltet.

Til denne Inddeling kan jeg meget godt slutte mig; ogsaa jeg maa sætte Ydergrænsen for Skalbæltet ved 13—14 m, ja for Store og Lange Bankes Vedkommende endda ved 15 m (eller mere)<sup>1)</sup>. Paa et Par enkelte Punkter er jeg dog ikke enig med A. C. JOHANSEN. Jeg maa saaledes absolut hævde, at Gællesneglene allerede langt

Tabel visende Mængdeforholdet mellem Pulmonater og Prosobranchier  
i Dybder paa 2—5 m.

|                                | Stat. 2<br>Furesøens<br>Vestside<br>3 m | Stat. 16<br>Nord-<br>siden<br>3 m | Stat. 20<br>Syd-<br>siden<br>4-5 m | Stat. 40<br>Lille<br>Kalv<br>2 m | Stat. 53<br>Store<br>Kalv<br>3 m | Stat. 55<br>Store<br>Kalv<br>3-4 m | Stat. 56<br>Store<br>Kalv<br>3-4 m | Stat. 57<br>Store<br>Kalv<br>4 m |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Limnæa stagnalis</i> ...    | —                                       | —                                 | —                                  | —                                | 1                                | 2                                  | —                                  | —                                |
| — <i>auricularia</i> ..        | 1                                       | 3                                 | 1                                  | 2                                | —                                | 2                                  | 7                                  | 1                                |
| — <i>ovata</i> .....           | 1                                       | 1                                 | —                                  | 1                                | 1                                | 13                                 | 2                                  | 1                                |
| <i>Planorbis corneus</i> ...   | —                                       | —                                 | —                                  | 1                                | —                                | 3                                  | —                                  | —                                |
| — <i>albus</i> .....           | —                                       | 5                                 | —                                  | 1                                | 3                                | —                                  | 1                                  | 1                                |
| Sum ...                        | 2                                       | 9                                 | 1                                  | 5                                | 5                                | 20                                 | 10                                 | 3                                |
| <i>Neritina fluviatilis</i> .. | 10                                      | 6                                 | —                                  | 8                                | 3                                | 4                                  | —                                  | —                                |
| <i>Bythinia tentaculata</i> .. | 6                                       | 6                                 | 7                                  | 3                                | 22                               | 142                                | 168                                | 53                               |
| — <i>leachi</i> .....          | —                                       | —                                 | 1                                  | —                                | —                                | —                                  | —                                  | —                                |
| <i>Valvata piscinalis</i> ...  | 2                                       | 14                                | —                                  | 14                               | 2                                | 1                                  | 200-300                            | 146                              |
| med var. <i>antiqua</i> ..     |   |                                   |                                    |                                  |                                  |                                    |                                    |                                  |
| Sum ...                        | 18                                      | 26                                | 8                                  | 25                               | 27                               | 147                                | c.350-450                          | 199                              |

<sup>1)</sup> Ogsaa de levende Dyr synes paa disse Banker at gaa længere ud end andensteds.

tidligere end ved 5 m's Dybde faar Overvægt over Lungesneglene, naar Hensyn tages til Individantallet. Allerede ved 3 m, ja i Lille Kalv endog inde paa 2 m Vand har Gælle-sneglene Overtaget. Til Belysning af dette hidsættes et Uddrag af mine Lister (8 Stationer). Af Stationer paa 3—5 m, der viste en lignende Fordeling, kunde endnu fremføres over det dobbelte Antal. Paa ingen af dem har Pulmonaterne Overvægten, og paa intet Sted af den ubeskyttede Kyst er dette Tilfældet. Kun inde i de smaa Bugter ved Bredden, hvor der er Læ mod Bølgeslaget, er Pulmonaterne i Overtal.

Ligeledes maa jeg benægte, at *Valvata piscinalis antiqua* Sowb. kun rent undtagelsesvis findes i den inderste Del af Skalbæltet og slet ikke i dets ydre Del. Som den inderste Del maa vel regnes Omraadet fra 8 til 10 eller 11 m. Paa saa godt som alle Stationer i Skalbæltet er truffet *Valvata piscinalis antiqua* i forskelligt Antal, flest dog i den indre Halvdel. Eksempler:

|                         |        |                           |         |
|-------------------------|--------|---------------------------|---------|
| Station 6 (10—15 m) ... | 1 Stk. | Station 42 (12—15 m) .... | 11 Stk. |
| — 27 (7—13 -) ...       | 22 -   | — 44 (8—22 -) ....        | 19 -    |
| — 29 (9—12 -) ...       | 13 -   | — 74 (8—9 -) ....         | 20 -    |
| — 30 (7—9 -) ...        | 3 -    | — 87 (12—13 -) ....       | 1 -     |

Dette er kun nogle Eksempler valgt i Flæng. — *Valvata piscinalis antiqua* findes levende overalt i Skalbæltet til 13 m, talrig i den indre Del, sjældnere i den ydre.

Med Hensyn til Dannelsesmaade af de store Mængder af Molluskskaller i Skalbæltet hersker der to forskellige Meninger. WESENBERG-LUND mener, at Hovedmængden af Skallerne stammer fra Dyr, der har levet paa Stedet, og at Transport indefra og udefter kun i ringe Grad har fundet Sted. A. C. JOHANSEN har derimod den Opfattelse, at største Parten af de Molluskskaller, der findes i Skalbæltet, er transporteret dertil fra indenfor liggende Zoner. Dog indrømmer han, at Skalsamlingerne i den inderste Del af Skalbæltet, hvor disse antager Karakter af Skalbanker, — i al Fald for Muslingernes Vedkommende — væsentligst hidrører fra Dyr, der har levet paa Stedet. Begge er enige om, at der foregaar en Transport af visse Skaller (de lette *Limnaea*- og *Planorbis*-Skaller samt *Neritina*) udefra og indefter, og at disse kastes op paa Bredden, særlig til visse Tider (Foraar og Efteraar).

En væsentlig Grund til, at A. C. JOHANSEN antager en Transport af Skaller indefra og ud i Skalbæltet, synes at være den, at *Valvata piscinalis antiqua*, hvis Skaller udgør Hovedbestanddelen af Aflejringerne, ikke findes levende i Bæltets ydre Del og kun undtagelsesvis i den indre Del. Dette Argument bortfalder efter det, der ovenfor er meddelt om denne Snegls Udbredelse.

Derimod synes der at være Vanskelighed ved at antage, at *Unio*- og *Anodonta*-Skallerne er aflejrede paa de Steder, hvor Dyrene har levet. Disse Muslinger findes nemlig ikke levende i den ydre Del af Skalbæltet, og selv om man vilde antage, at *Anodonta* i enkelte Tilfælde gik noget længere ud end til den af mig anførte Grænse, 10—11 m, vilde man vanskelig kunne forklare Tilstedeværelsen af den store Mængde *Unio*-Skaller, der paa flere Steder findes uden for Unionernes Udbredelsesomraade, nemlig paa 11—13 m. — Saaledes synes A. C. JOHANSENS Paastand om, at der har været en Trans-

port af Skallerne langs Bunden i Retningen indefra og udefter at være ikke alene den sandsynligste, men ogsaa den eneste mulige Forklaring.

For at der kan have fundet en Transport Sted, maa der dog ogsaa kunne paavises Kræfter, der har været i Stand til at udføre denne Transport; men disse er det vanskeligt at finde. Det kunde tænkes, at Bundstrømme og maaske ogsaa Bølgeslaget kunde bevirke eller være medvirkende ved en saadan Transport. Bevægende Kræfter af denne Art kendes nemlig fra andre Søer. FOREL (1892—1904, pag. 278—82) angiver saaledes for Genfersøens og en lille Morænesø's Vedkommende at have iagttaget Bundstrømme, der gaar i modsat Retning af Vinden, og som skyldes den Omstændighed, at Vandet stemmes op i Søens Vindside, hvorved fremkommer Trykdifferenser, der udlignes ved, at Vandet i de dybere Lag føres tilbage til Læsiden af Søen. Disse Strømme kan i Genfersøen gaa ned til 10—30 m om Sommeren og til 200—300 m om Vinteren, og de har der en meget betydelig Kraft. Ogsaa i Vättern gaar der til visse Tider kraftige Bundstrømme (Ekman 1915). Lignende Strømme kunde tænkes at forekomme i Furesøen. Da imidlertid Vinden i Genfersøen og i Vättern har en langt større Flade at virke paa end i Furesøen, vil Bundstrømme i den sidstnævnte Sø langtfrå kunne blive saa stærke, men sikkert stærke nok til at flytte lettere Skaller. I samme Arbejde angiver FOREL, at Bølgeslagslinier i Sandet ses ned til 10 m's Dybde i Genfersøen. Saa langt kan altsaa Bølgenes Indflydelse paa Sandet spores. At Virkningerne af Bølgebevægelsen, selv om Bølgerne er smaa, kan gaa endnu dybere, maa man formode efter en Angivelse hos KRÜMMEL (1902): Brødrene WEBER har ved Eksperimenter godtgjort, at meget ringe Bevægelse endnu kunde spores i en Dybde, der var 350 Gange saa stor som Bølgehøiden, saaledes at Bølger paa kun 8 cm's Højde var tilstrækkelige til at sætte en Vandmasse paa 30 m's Dybde i Bevægelse. Hvor høje Bølgerne kan blive i Furesøen vides — saa vidt mig bekendt — ikke, og heller ikke ved man, om de smaa Bevægelser, Vandpartiklerne udfører paa 8—13 m's Dybde som Følge af Bølgebevægelsen i Overfladen, er tilstrækkelige til at transportere Skallerne. Dog maa man betænke, at Skallerne føres udefter, og at de er aflejret paa en, undertiden endog stærkt skraanende Bund. Paa en saadan kræves der naturligvis langtfrå den Kraft til at flytte Skallerne som paa en jævn Flade.

Til det ovenfor anførte er der dog at sige følgende: Der er endnu aldrig i Furesøen iagttaget Strømme af Betydning, og den ovenfor omtalte Bevægelse i Vandet forårsaget af Bølgebevægelsen vil maaske nok kunne flytte lette Skaller, der ligger paa en Skraaning, men ikke tunge *Unio*- og *Anodonta*-Skaller, der tillige ofte sidder fast i den bløde Bund. Vi er derfor henvist til at søge en anden Forklaring paa Dannelsen af Skalflejringerne. En saadan har jo nu Dr. WESENBERG-LUND (pag. 27) givet, idet han blot har modificeret sin tidligere Forklaring noget:

Skalflejringerne er dannet af Skaller, som stammer fra Mollusker, der har levet paa dette Sted. Naar Skalflejringerne nu ligger uden for Molluskernes Udbredelsesomraade, skyldes det, at der enten har fundet en Forandring af Søens Vandstand Sted, eller at der er foregaaet en Forandring i Søens fysiske og kemiske Forhold, saaledes at Molluskerne tidligere havde en større bathymetrisk Udbredelse end nu. Begge Slags Forandringer har sikkert fundet Sted; man maa saaledes antage, at Vandstanden i Søen tidligere har været lavere, og at Vandets Gennemsigtighed og Iltmængde har været

større end nu, hvilket har bevirket, at Molluskerne da gik længere ud. (Se W-L., pag. 28).

En nødvendig Følge af den ovennævnte Forklaring er, at Skallerne — i al Fald i Skalbæltets ydre Del — maa være meget gamle (thi der kræves lang Tid til, at en saadan Ophobning har kunnet finde Sted), men det gør de ogsaa Indtryk af at være. Desuden er paa dette Sted de opløsende Stoffer (Kulsyre, Humussyre) kun til Stede i ringe Mængde.

Medens man saaledes maa forkaste Teorien om en Skaltransport i større Udstrækning langs Bunden, ved man sikkert, at der til Stadighed langs Vandoverfladen finder en Transport af lette Skaller (overvejende *Pulmonater* og *Bythinia*) Sted udefter fra Bredden eller fra lavt Vand. WESENBERG-LUND (1901, pag. 73) angiver, at større Snegle om Foraaret dør i stor Mængde, og at disse henraadnende, luftfyldte Snegle flyder i Overfladen og føres ind paa Land. Saadanne kan jo sikkert ogsaa føres udefter og bundfældes paa dybere Vand. Lignende Iagttagelser har BROCKMEIER gjort allerede i 1895 og vist denne Transportmaade for baade Langesnegle, Gellesnegle og *Sphaerium*. A. C. JOHANSEN anfører (1902, pag. 15) andre Forhold, der medvirker ved Transporten udad; saaledes henleder han Opmærksomheden paa de tomme Skaller paa Bredden. Disse, der er fyldt med Luft, Jord og Planterlevninger, har Evnen til at flyde. Naar Vandet i Søen stiger, og Skallerne flyder om paa Overfladen, kan Blæsten føre disse langt ud. Efterhaanden siver Vandet ind, og Luften fortrænges; Skallerne synker til Bunds. Paa en lignende Maade kan lette Plantedele transporteres udefter, og saadanne findes paa visse Steder af Søbunden i stor Mængde. WESENBERG-LUND (1901, pag. 78) angiver, at der ud for Kysterne ved Nørreskov, hvor disse skraaner stærkt, paa forholdsvis dybt Vand kan findes store Mængder af Blade, Knopskæl og Smaagrener. Jeg selv har ved Skrabning i Furesøen og særlig i Farum Sø taget lignende Masser af Plantedele og samtidig deri fundet Skaller af Landsnegle: *Helicigona lapicida*, *Vallonia*, *Clausilia* og *Succinea*.

En Transport af levende Snegle ved Hjælp af flydende Plantedele eller Dyr (Vandinsekter, Flodkrebs, Vade- og Svømmefugle) har sikkert mindre Betydning. A. C. JOHANSEN (1902, pag. 14—15) har efter H. W. Kew givet en Oversigt over disse Transportmaader.

### De aflejrede Skallers Beskaaffenhed.

I Plantebæltet er Skallerne ret medtagne, slidte og korroderede, ofte halvt opløste, idet de blandt andet er paavirket af Planterødder og af Alger. I Skalbæltet er Skallerne hvide, ofte ganske kridtagtige, saaledes at de let pulveriseres mellem Fingrene. Dette Destruktionsfænomen ses smukkest paa *Unio*-Skallerne. Meget smukke Stykker af saadanne omdannede *Unio*- og *Anodonta*-Skaller toges flere Steder paa 7—10 m samt enkelte Steder paa 13 m; men ogsaa paa Bankerne inde i Vegetationsbæltet kan disse findes (3½—5½ m).

Ofte omdannes i den ydre Del af Skalbæltet og i en Zone uden for dette Molluskskallerne til Brunjærnsten. Dette gælder særlig Skaller af *Valvata*, *Neritina*, *Unio* og *Anodonta*, men ogsaa — omend sjældnere — *Bythinia* og *Pisidier*. Ligeledes udskilles paa de samme Steder talrige ganske smaa Kugler af rent Brunjærnsten. Vi skylder

WESENBERG-LUND (1901) Beskrivelsen og en udførlig Forklaring af dette interessante Fænomen. (Se iøvrigt p. 30).

### Sammenligning mellem Molluskernes bathymetriske Udbredelse i Furesøen og i andre europæiske Søer.

Desværre foreligger der kun faa og ofte utilstrækkelige Angivelser om, til hvilke Dybder Molluskerne — og da særlig Litoralformerne — gaar ud. Efter de Oplysninger, Litteraturen har kunnet give mig, har jeg sammenstillet en Liste, hvori angives Ydergrænsen for nogle af de almindelige Molluskarter (Pisidierne dog undtagne), der tillige findes i Furesøen. Et Par Steder er ogsaa medtaget Former (*Planorbis borealis* Lov. og *Valvata alpestris* Blaun.), der slutter sig nær til Arter, der forekommer i Furesøen (henholdsvis *Pl. albus* Müll. og *V. piscinalis* Müll.). Hvor den øvre Grænse for Udbredelsen er omtalt, markeres den ved, at det først anførte Tal er trykket kursiv. Listen omfatter følgende europæiske Søer: Ratzeburger Søerne (SCHERMER 1914), Vättern (EKMAN 1915), Ladoga (LINDHOLM 1911), Neuenburgersø (Lac de Neuchâtel, PIAGET 1913), Starnberger Sø i Bayern, Garda Søen samt 5 schweiziske Søer: Bodensøen, Zürichersøen, Thunersøen, Vierwaldstättersøen og Genfersøen (alle 7 efter ZSCHOKKE 1911). Til Sammenligning er anført Furesøen. Sidste Kolonne indeholder mere spredte Angivelser, særlig vedrørende Dybvandsformerne, samt et Par Angivelser fra den armenske Sø Goktschai (KESSLER og BRANDT efter ZSCHOKKE 1911) og fra Hjälmaren (ALM 1916).

Man ser af Listen, at der er stor Forskel paa den bathymetriske Udbredelse af Arterne i Furesøen og i andre Søer, men ogsaa mellem de forskellige udenlandske Søer indbyrdes. I det hele taget synes de fleste Arter andensteds at gaa betydelig længere ud end i Furesøen. Det er saaledes ejendommeligt at se, at Mollusker, som vi her hjemme er vant til at anse for udprægede Bredformer, i Udlandets Søer kan gaa ud til en Dybde paa 20—50 m. Dette er f. Eks. Tilfældet med *Valvata macrostoma* Steenb. (Vättern 21 m), *Physa fontinalis* L. og *Planorbis contortus* L. (begge i Vättern 22—24 m), ja *Planorbis carinalus* Müll. er i Goktschai Søen endog taget i 80 m's Dybde.

Desværre faar man ikke altid angivet, om Dyrene er taget i flere Eksemplarer paa de større Dybder, eller om det kun drejer sig om et enkelt Eksemplar. I sidste Tilfælde maa man være forsigtig med at drage Slutninger om Udbredelsen; thi enkelte Individuer, som er fæstede til Plantedele eller lignende, kan let ved Vindens, Strømmens eller Bølgenes Hjælp føres midt ud i Søen og der synke til Bunds paa dybt Vand, eller Transporten kan ved Hjælp af kraftige Bundstrømme være foregaaet langs Bunden. ROSZKOWSKI (1914) har saaledes i Genfersøen fundet et Eksemplar af *Linnæa stagnalis* L. paa 60 m samt et Eksemplar af *L. auricularia* L. og eet af *L. ovata* Drap. paa 280 m; de viste alle 3 Tegn paa ublid Behandling under deres Transport ud paa Dybet.

Den Sø, der med Hensyn til Molluskernes bathymetriske Udbredelse ligner Furesøen mest, er Ladoga; kun 1 Art, *Sphaerium corneum* L. gaar længere ud end i Furesøen. Ratzeburgersøerne, hvis Naturforhold, man skulde mene, kommer ret nær ved Furesøens, viser det mærkelige Forhold, at Sneglene alle gaar længere ud, medens Muslingerne standser ved en betydelig ringere Dybde end i Furesøen. I Modsætning til disse tre Søer, hvis Mollusker (med Undtagelse af Pisidierne) alle holder sig inden for 13(18) m,



staar Vättern. De fleste Arter optræder her først paa ret dybt Vand (8—18 m), idet der i Søen findes en udpræget Brændings-Zone, hvor de fleste Mollusker ikke kan leve. Til Gengæld gaar de alle meget langt ud (til 50—60 m) uden dog at danne specielle Dybvandsformer. Grunden til, at Mollusker, der andensteds tilhører det litorale Omraade, her kan trænge saa langt ud, er, at Vandet er saa rent, klart og iltholdigt. Vegetationen gaar ogsaa ligesom i de schweiziske Søer meget længere ud (til 30—50 m i Vättern, til 25—30 m i de schweiziske Søer) end hos os, hvor den standser ved ca. 8 m. For de schweiziske Søers Vedkommende mangler som Regel Angivelser om Litoralformernes bathymetriske Udbredelse, til Gengæld er Dybvandsområdet godt undersøgt og Angivelserne fyldige angaaende de ejendommelige Dybvandslimnæer og Dybvandspisidier.

Det har i længere Tid været kendt, at der i de mellemeuropæiske Søer paa de større Dybder (50—300 m) fandtes særlige Molluskformer, der ikke direkte kunde henføres til de ved Bredderne forekommende Arter. Saadanne specielle og ret stærkt omdannede Dybvandsformer findes væsentligst inden for Slægterne *Limnæa* og *Pisidium*. Ogsaa Slægterne *Paludina*, *Valvata* og *Neritina* er repræsenteret paa dybt Vand (35—200 m); dog er de her forekommende Individer af disse Slægter ikke ret meget omdannede og kan derfor forholdsvis let henføres til Arter, der forekommer ved Bredderne; de maa derfor betragtes som Varieteter af disse. Andre Slægter, f. Eks. *Bythinia*, kan i flere Søer gaa ud paa dybt Vand uden at forandres videre, i alt Fald ikke saa meget, at man har fundet Anledning til at udskille Dybvandsformerne som særlige Varieteter. *B. tentaculata*, der i Gardasøen gaar ud til 60 m, faar paa de større Dybder kun en noget mindre og tyndere Skal samt en bleg Hud- og Skalfarve.

Hvad Dybvandslimnæerne angaar, da er det Former med smaa tynde Skaller og faa Vindinger. De er særlig tilpassede til Livet paa de store Dybder, saaledes har de f. Eks. til Stadighed Lungehulen fyldt med Vand og maa optage den heri opløste Ilt gennem Lungen, idet de ikke saaledes som de paa ganske lavt Vand levende Individer kan komme op til Overfladen og direkte aande atmosfærisk Luft; desuden aander de gennem hele Hudoverfladen. Hudaandedrættet (gennem Følere og Forkrop) spiller i det hele hos Limnæerne en lige saa stor eller endog større Rolle end Lungeaandedrættet. — Det er højst forskelligt paa de forskellige Steder, hvor langt Bredformerne gaar ud, og paa hvilke Dybder Dybvandsformerne begynder. Saaledes ser vi, at *Limnæa ovata* i Ladoga Søen gaar ud til 35 m og i Vättern til 56 m uden væsentlig at forandre Udseende, og i Vierwaldstättersøen er Varieteten *mucronata* en enkelt Gang taget paa 50 m. Paa den anden Side træffes Dybvandsformerne *L. foreli* og *profunda* i Genfersøen allerede paa 30 m, ja *L. foreli* (ved Morges) endog paa 15 m. Den største Dybde, Dybvandsformerne er truffet paa, er 280 m (*L. abyssicola*, *profunda*).

De beskrevne Dybvands-Limnæer er følgende: *Limnæa profunda* Clessin, *L. abyssicola* Brot, *L. foreli* Clessin og *L. yungi* Piaget. Der hersker meget delte Meninger om, til hvilke Bredformer disse skal henføres. I Almindelighed henføres *L. yungi* til *L. stagnalis* L., *L. profunda* til *L. stagnalis* var. *lacustris* Stud., *L. abyssicola* og *L. foreli* til *L. auricularia* L. PIAGET (1912) og ROSZKOWSKI regner dog *L. abyssicola* til *L. palustris* Müll. Ganske i Modsetning til andre Malakologer staar ROSZKOWSKI (1912, 1914 a, b) med sin Tydning af *L. profunda*, *L. foreli* og *L. yungi*, som han alle 3 henfører til *L. ovata* Drap.; men da disse Bestemmelser støttes af anatomiske Undersøgelser, er hans Tydning

| Ydergrænsen for<br>Molluskernes Udbredelse | Furesø               | Ratze-<br>burger<br>soerne | Vättern                           | Ladoga                               | Starn-<br>berger-<br>sø | Bodensø                     | Zürichersø               | Thun  |
|--|----------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------|
| <i>Limnæa stagnalis</i> L. ....            | 5 m                  | .....                      | <i>typ. + lacustr.</i><br>13-50 m | .....                                | 15-25 m                 | .....                       | .....                    | ..... |
| — <i>palustris</i> Müll. ....              | 2 m                  | .....                      | .....                             | .....                                | .....                   | 25 m                        | .....                    | ..... |
| — <i>auricularia</i> L. ....               | 7 m                  | .....                      | .....                             | .....                                | 15-25 m                 | .....                       | .....                    | ..... |
| — <i>ovata</i> Drap. ....                  | 7-8 m                | 8-10 m                     | <i>typica</i> 56 m                | 5 m                                  | 15-25 m                 | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Physa fontinalis</i> L. ....            | .....                | .....                      | 22-24 m                           | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Planorbis corneus</i> L. ....           | 5 m                  | .....                      | .....                             | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| — <i>carinatus</i> Müll. ....              | 2 m                  | .....                      | .....                             | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| — <i>albus</i> Müll. ....                  | 5 (8) m              | 10 m                       | .....                             | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| — <i>borealis</i> Lov. ....                | .....                | .....                      | 3-22 m                            | <i>frigidus</i><br>6 $\frac{1}{4}$ m | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| — <i>contortus</i> L. ....                 | .....                | .....                      | 22-24 m                           | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Ancylus fluviatilis</i> Müll. ....      | .....                | .....                      | .....                             | 6 m                                  | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Valvata piscinalis</i> Müll. ....       | .....                | 6-8 m                      | 13-30 m                           | <i>skorikovi</i><br>8 m              | .....                   | .....                       | .....                    | 20-45 |
| var. <i>antiqua</i> Sowb. ....             | 13 m                 | 18 m                       | .....                             | .....                                | .....                   | <i>lacustris</i><br>25-50 m | <i>lacustris</i><br>40 m | 35    |
| — <i>alpestris</i> Blaun. ....             | .....                | .....                      | .....                             | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | 35-45 |
| — <i>macrostoma</i> Steenb. ....           | 1 m (?)              | .....                      | 18-21 m<br><i>depressa</i> 34 m   | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| — <i>cristata</i> Müll. ....               | 2 $\frac{1}{2}$ -3 m | 5 m                        | 14-33 m                           | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Eythina tentaculata</i> L. ....         | 9-10 m               | 12 m                       | .....                             | 6 m                                  | 15-25 m                 | .....                       | 30-40 m                  | 20-40 |
| — <i>leachi</i> Shepp. ....                | 4-5 m                | 3-6 m                      | .....                             | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Neritina fluviatilis</i> L. ....        | 7-8 m                | 8-10 m                     | .....                             | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Unio tumidus</i> Retz. ....             | 9-10 m               | 3 m                        | .....                             | 10 m                                 | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| — <i>pictorum</i> L. ....                  | 9 m                  | 4 m                        | .....                             | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Anodonta cygnea</i> L. ....             | 10-11 m              | 3 m                        | .....                             | 10 m                                 | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Sphaerium corneum</i> L. ....           | 4-5 m                | 3 m                        | 8-60 m                            | 13 $\frac{1}{4}$ m                   | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |
| <i>Dreissensia polymorpha</i> Pall. ....   | 30 m                 | 8 m                        | .....                             | .....                                | .....                   | .....                       | .....                    | ..... |

<sup>1)</sup> Heri indbefattet de talrige af PIAGET og ROSZKOWSKI beskrevne Varieteter. <sup>2)</sup> med Varieteten *furcata*

| uen-<br>gersø           | Vierwald-<br>stättersø                             | Gardasø                  | Genfersø  | Andre Søer   |
|-------------------------|--|--------------------------|---|--|
|                         |  |                          | <i>v. bollingeri</i><br>15-30 m   | I Goktschai-Søen 30-80 m   |
|                         |  |                          | <i>abyssicola</i><br>25-280 m   | <i>L. abyssicola</i> : Luganersø<br>70 m, Walensø 90-150 m,<br>Comosø 100 m, Lac<br>d'Annecy 55 m (Zuger-<br>sø og flere). |
|                         |  |                          | ? <i>sublittoralis</i><br>30-50 m   |  |
| 50 m                    | <i>foreli</i><br>80 m<br>( <i>mucron.</i><br>50 m) |                          | ? <i>ampla</i> 30 m<br><i>foreli</i> <sup>1)</sup><br>15-305 m<br><i>yungt</i> <sup>1)</sup><br>30-247 m<br><i>profunda</i> <sup>1)</sup><br>30-300 m | Luganersøen 50-90 m  |
|                         |  |                          |   |  |
|                         |  |                          |   | I Goktschai-Søen til 80 m  |
|                         |  |                          | <i>achromata</i><br>15-30 m   |  |
|                         |  | <i>profunda</i><br>60 m  |   | Fra Bredden til 21 m i<br>Hjälmarens.  |
| 0 m                     | 15 m   | <i>lacustris</i><br>60 m | <i>antiq.</i> <sup>2)</sup> 20-30 m<br><i>lacustris</i> <sup>2)</sup><br>30-300 m   | <i>lacustris</i> : Lac d'Annecy<br>40 m, Pfäffikonersø 60 m,<br>Brienzersø 35 m  |
|                         |  |                          |   | Achenso 64 m   |
|                         | <i>depressa</i><br>15-20 m                         | ? <i>inhofii</i><br>90 m |   |  |
| te Del<br>ybde-<br>onen | 5 m  | 60 m                     | øverste Del af<br>Dybsoen   | ? Traunso 200 m  |
|                         |  | <i>intexta</i><br>60 m   |   | Lac de Joux, Bieler sø og<br>Greifensø i den øverste<br>Del af Dybderegionen.  |
|                         |  |                          |   |  |
|                         |  |                          |   | Hjälmarens 6 m   |
|                         |  |                          | 20-25 m   |  |
|                         |  |                          |   | I nordtyske Søer 40 m.   |

sikkert den rigtige, hvorfor den ogsaa er antaget i Tabellen. Det er altsaa kun *L. palustris* Müll. og *L. ovata* Drap., der danner Dybvandsformer, medens *L. stagnalis* L. og *L. auricularia* L. ikke synes at gaa ud over den litorale Grænse. Ifølge Roszkowski's Klækningsforsøg og Undersøgelse over Udbredelsen af *Limnæerne* i Genfersøen maa det anses for sikkert, at 1) Dybvandslimnæerne kun er Repræsentanter for Litoralformerne, og at 2) Dybvandsformerne til Stadhed rekruteres fra Limnæerne inde paa lavt Vand.

Ganske analogt med Limnæerne findes der udprægede Dybvandsformer blandt *Pisidierne*; Formrigdommen er blot endnu større. Undersøgelserne over disse er imidlertid ikke videre indgaaende, navnlig mangler der gode Figurer (spec. Fig. af Hængslet); det er derfor vanskeligt at henføre dem til bestemte Bredformer, hvorfra de kan alledes. Nogle faa er enkelte Gange anført som Varieteter af Arter, der forekommer ved Søbredderne; men man foretrækker nu for det meste at anføre dem som selvstændige Arter. Af saadanne findes der ca. 25. CLESSIN og FOREL har søgt at samle de fleste i Grupper og angive, fra hvilke Arter de nedstammer. Saaledes skal 6 »Arter« nedstamme fra *P. casertanum*, 5 fra *P. milium*, 3 fra *P. nitidum* (og 2 fra *P. italicum*, en Art, der ikke findes hos os). Om 2 »Arter« har WOODWARD (1913) vist, at

<sup>1)</sup> med Varieteterne *foreli* Piag. og *yungi* Piag.

de kan henføres til en gammel, velkendt Art. Saaledes er den fra Torne-träsk af ODHNER (1908) beskrevne *P. tornense* den samme som *P. pusillum* Jenyns, og *P. clessini*, som G. SURBECK angiver fra Vierwaldstättersøen er — i alt Fald delvis — opstillet paa Individet af *P. pusillum*. Dybvandsformer har man indtil 1908 kun kendt fra Søer i Alperne eller ved Alpernes Fod, hvor de gaar ned til en Dybde af over 300 m; siden er der kommen 2 svenske Forekomster til. ODHNER har — som allerede ovenfor berørt — vist, at der i Nordsverige, i Torne-träsk, findes Pisidier paa større Dybder; *P. tornense* Odhner (= *P. pusillum* Jenyns) gaar saaledes ned til 130 m, og S. EKMAN har i Vättern fundet *P. pusillum* Jen. i alle Dybder fra 10—120 m.

I Furesøen er det kun Pisidierne, der gaar ud paa dybt Vand, de øvrige Mollusker standser indenfor 13 m. Det skulde altsaa være iblandt disse, man skulde søge efter særegne Dybvandsarter; men saadanne findes ikke. Ej heller er der i Søen uddannet særlige Varieteter af Bredformerne<sup>1)</sup>: Furesøen har ingen speciel Molluskfauna paa det dybe Vand. Grunden til, at der ikke paa de større Dybder er udformet særlige Varieteter eller »Arter« af Bredformerne, er sikkert den, at Dybden i Søen er for ringe. Desuden er det Areal, der findes uden for 30 m (begrænset af den prikkede Zone paa Kort 5), temmelig lille, saaledes at Forskellen i Bundbeskaffenhed, Temperatur- og Strømningsforhold samt Ernæringsforhold ikke er stor mellem dette Omraade og de højere liggende Dele. — Ligesom for de andre Molluskers Vedkommende gælder det for en Del — men ikke alle — *Pisidie*-Arter, at de i Furesøen ikke gaar ud paa saa store Dybder som paa andre Steder.

I vedføjede Tabel er givet en Oversigt over den bathymetriske Udbredelse af *Pisidierne* i Furesøen sammenlignet med Udbredelsen i andre europæiske Søer: Ratzeburgersøerne (SCHERMER 1914), Vättern (EKMAN 1915), Hjälmaren (ALM 1916), Torne-träsk (ODHNER 1908), Ladoga (LINDHOLM 1911), Vierwaldstättersøen (SURBECK 1899), Thuner- og Brienzersøerne (v. HOFSTEN 1911), Luganersø (FEHLMANN 1911), Genfersøen (PIAGET 1913), samt nogle spredte Angivelser fra enkelte andre Søer (efter ZSCHOKKE 1911).

Der er kun medtaget de Arter, der findes i Furesøen samt de faa Dybsøformer (*P. tornense* Odhner, *clessini* Surb. og *foreli* Cless.), der med nogenlunde Sikkerhed kan henføres til Litoralformerne. Hvis man, som CLESSIN og FOREL (ZSCHOKKE 1911, pag. 160), vil aflede alle Dybsøformerne fra 4 Arter blandt Bredbeboerne, faar 3 af de i Tabellen anførte Arter naturligvis et langt større bathymetrisk Udbredelses-omraade.

Fra *P. casertanum* Poli afledes: *P. occupatum* Cless., *submersum* Cless., *prolongatum* Cless., *tritonis* Cless., *imbutum* Cless. og *demissum* Cless. De gaar alle i de schweiziske Søer ud paa 30 m og derover, den sidstnævnte i Bodensøen endog ud paa 300 m.

Fra *P. nitidum* Jen. stammer: *P. foreli* Cless., *conventus* Cless. og *novae-villae* Cless. Af de to sidstnævnte findes *P. conventus* Cless. i Starnbergersø paa 30—60 m, *novae-villae* Cless. i Bieler sø paa 40 m, hvorimod *foreli* Cless., som vist i Tabellen, gaar ud de største Sodybder.

<sup>1)</sup> Det skulde da være den pag. 102 omtalte, tykskallede, trekantede Variant af *P. casertanum* Poli; men dens Udbredelsesomraade er ikke tydelig adskilt fra den typiske Form.

| Pisidium                        | Furesø          | Ratze-<br>burger-<br>søerne | Vättern     | Hjal-<br>maren | Tone-<br>träsk | Lado-<br>ga | Zü-<br>richer-<br>sø | Vier-<br>wald-<br>stätter-<br>sø | Thu-<br>nersø | Brien-<br>zersø                               | Genfersø  | Andre Søer   |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------------|----------------------------------|---------------|---|---|--|
| <i>P. amnicum</i> Müll. ....    | c. 0,2-5 m      | 18 m                        | ....        | ..             | ..             | ..          | 50 m                 | 2 m                              | ...           | ...   | <i>couagnei</i><br>20-30 m  | Store Plønersø 18 m,<br>Bodensø 20 m, Lur-<br>ganersø 80 m |
| <i>P. casertanum</i> Poli. .... | c. 0,2-36 m     | 20 m                        | (3) 12-42 m | 5-16 m         | ..             | ..          | ..                   | ....                             | 30-40 m       | ...   | <i>kampmanni</i><br>20-30 m   | Lünersø 30 m.  |
| <i>P. henslowianum</i> Shepp. . | c. 0,2-36 m     | 8 m                         | ....        | 12 m           | ..             | 8 m         | 2-5 m                | ....                             | ...           | 35-45 m                                       | <i>typ. 4 m</i><br><i>bedoti</i><br>20-25 m   |  |
| <i>P. subbruncatum</i> Malm. .  | c. 0,2-30 m     | ...                         | 16-23 m     |                |                |             |                      |                                  |               |   |   |  |
| <i>P. pusillum</i> Jen. ....    | c. 0,2-25(30) m | ...                         | 10-120 m    | 20 m           | 130 m          | ..          | ..                   | <i>classini</i><br>25-214 m      |               |   |   |  |
| <i>P. parvulum</i> B. E. Wood . | 1-20 m          |                             |             |                |                |             |                      |                                  |               |   |   |  |
| <i>P. nitidum</i> Jen. ....     | c. 0,2-10 m     |                             | 15-24 m     |                |                |             | 2-5 m                | ....                             | 30-40 m       | <i>typ. 30 m</i><br><i>foreli</i><br>25-305 m | <i>typ. Neuenburgersø</i><br>30 m, Moosedorfsø<br>20 m, Bodensø 20-<br>300 m, Lünersø pro-<br>fund. |  |
| <i>P. obtusale</i> Lam. ....    | c. 0,2-3(4) m   | ...                         | 16-23 m     | ..             | 10 m           |             |                      |                                  |               |   |   |  |
| <i>P. milium</i> Held. ....     | [c. 0,2-c. 1 m] | ...                         | ....        | ..             | ..             | 6 1/4 m     | 5-20 m               | ....                             | ...           | ...   | ....  | Klansø 27 m<br>Comosø 50 m                                 |
| <i>P. putchellum</i> Jen. ....  | [c. 0,2-1 m]    | ...                         | ....        | 15 m           | ..             | ..          | ..                   | ....                             | ...           | ...   | 30 m  |  |



Den tredje Art, *P. milium* Held, skal have 5 afledede Former: *C. urinator* Cless., *quadrangulum* Cless., *asper* Cless., *fragillimum* Cless. og *miliolum* Cless. Af disse findes de to sidste paa mindre Dybder, henholdsvis paa 30—40 m og 55 m; de andre tre spænder over et større Omraade, nemlig ca. 25(50)—200 m.

De fra *P. italicum* Cless. afledede *P. locarnense* Cless. og *luganense* Cless. kommer ikke i Betragtning her, da Bredformen (*P. italicum* Cless.) ikke forekommer i Furesøen. Alle disse Afledninger er dog i høj Grad usikre, og hele dette Spørgsmaal trænger til en grundig Undersøgelse.

Fælles for Furesøen og Søerne i Alpe-Omraadet er, at Individantallet i det store og hele tiltager med Dybdens, medens det gaar omvendt med Artsantallet. I Vättern er Forholdet noget anderledes, idet Maksimalhyppigheden for *P. pusillum* Jen. ligger omkring 60 m (den gaar ud til 120 m), medens de andre *Pisidier* kun lever mellem 15 m og 40 m.

Som det vil ses af ovenstaaende Oplysninger om Molluskernes bathymetriske Udbredelse i de europæiske Søer, er det særlig Dybvandsformerne, man har studeret; derimod mangler i høj Grad Angivelser for Bredformernes Vedkommende (navnlig gælder det for *Unio* og *Anodonta*); disse har man skænket alt for lidt Opmærksomhed. Naar saaledes Clessin (1873) bemærker, at Sneglene i de øvre bayerske Søer kun gaar ud til 2 m og Muslingerne (*Unio* og *Anodonta*) ikke uden for 4 m, lyder dette meget usandsynligt; disse mærkelige Angivelser beror vel derpaa, at han ikke har haft Lejlighed til at foretage omfattende Skrabninger.

Tavle I.

## *Limnæa auricularia* L.

Alle Figurerne i naturlig Størrelse.

Fig. 1. Den typiske Form.

- 2, 3 og 4. Karakteristiske Former tagne paa *Scirpus* og *Phragmites*. 2 og 3 har særdeles stærkt snoet Akserand; alle tre har Mundranden stærkt udhulet foroven og forneden.
- 6—9. Individuer med meget høje, smalle Mundinger. De tre første har ikke den stærkt udstaaende øverste Mundrand, som man (med Urette) ofte angiver som bedste Kendetegn paa *L. auricularia*.
- 5 og 10—15 viser, hvorledes Snoningen af Akseranden efterhaanden kan forsvinde. Fig. 13—15 er Konvergensformer mod *L. ovata* var. *inflata*.
- 16—20. En Række Individuer, der ikke er helt udvoksede. De viser, at Ungerne har et forholdsvis langt højere Spir og mindre Munding end de voksne.



Aut. fot., F. Hendriksen rep.





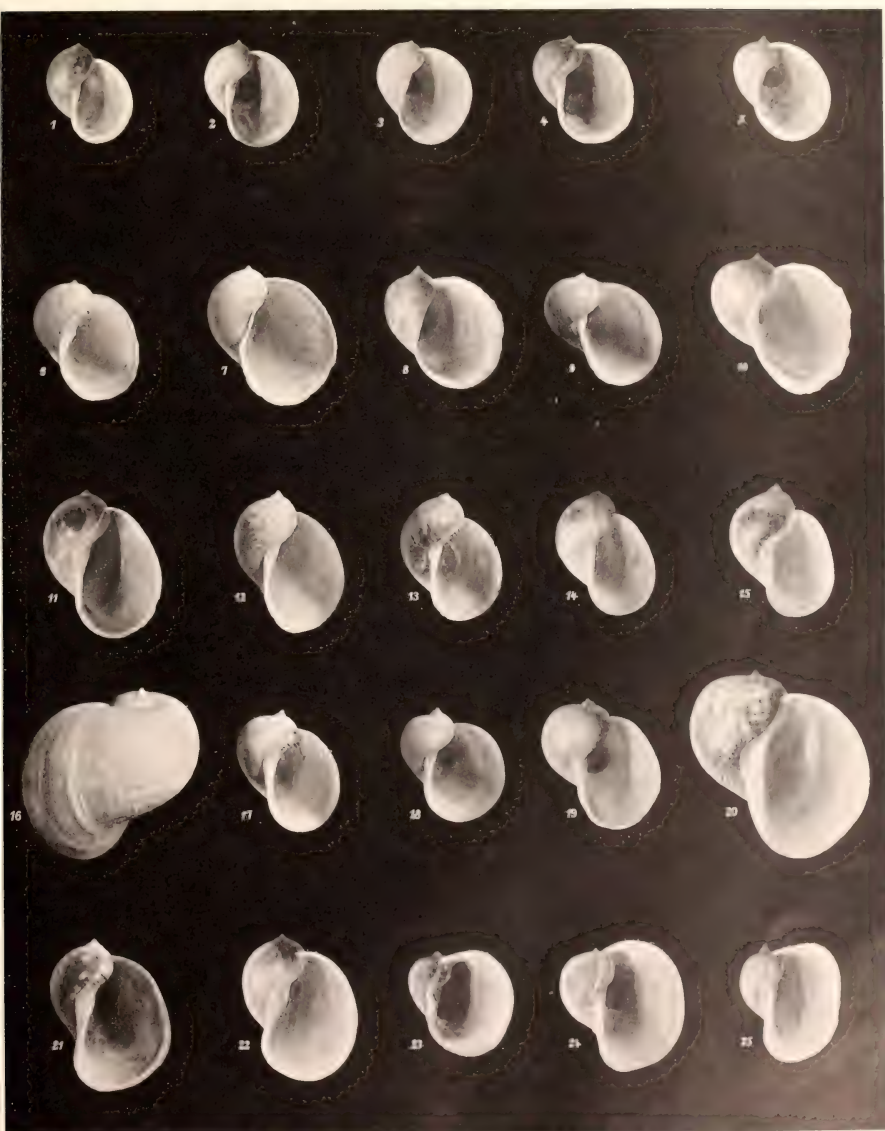
## Tavle II.

## *Limnæa ovata* Drap.

Alle Figurerne i naturlig Størrelse.

---

- Fig. 1 5. Varieteten *patula* Da Costa = *ampullacea* Rossm.  
— 6 8. Varieteten *obtusa* Kob. Fig. 8 viser det mest typiske Individ; det svarer ret nøje til KOBELT's Fig. (Litt. KOBELT 1870, T. II. Fig. 6).  
— 9 10. Varieteten *hartmanni* Charp.  
— 11, 15. Varieteten *inflata* Kob. (se Teksten pag. 84).  
12—14. Den typiske *ovata*.  
— 16—20. Den for Furesøen karakteristiske *inflata*-Form (se Teksten pag. 84). Fig. 16 og 20 viser en *L. ovata*, der er taget af Dr. V. NORDMANN. Det er det største Eksempel, der er fundet her i Landet af denne Art.  
— 21—22. Individier med snoet Akse.  
— 23—25. Varieteten *ampla* Hartm.
-



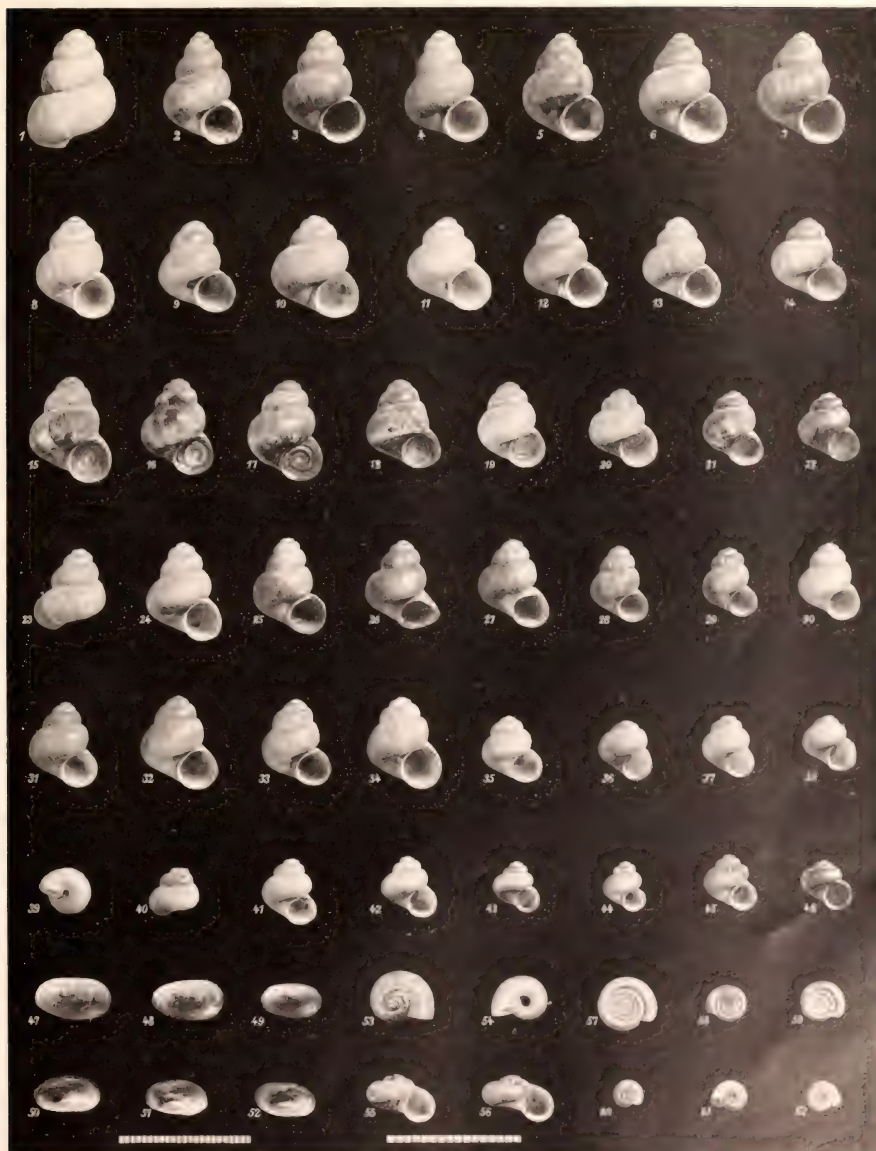


### Tavle III.



Fig. 1 45. *Valvata piscinalis* Müll. var. *antiqua* Sowb. (c. 2 Gange forstørret).

- 1—5. Eksemplarer tilhørende Variationsrække 1 (se pag. 93).
- 6—9. Overgangsformer fra Variationsrække 1 til typiske Eksemplarer af *V. antiqua* Sowb.
- 10—14. Typiske Eksemplarer af *V. antiqua* Sowb.
- 15—22. En Række laagbærende Individer.
- 23. Individ med ret dyb Skalsøm, svarende omtrent til det af SOWERBY afbildede Original-eksemplar (Tekstfig. 41).
- 24. Overgangsform mellem 1ste og 2den Variationsrække (pag. 95).
- 25—27. Eksemplarer med løsnet sidste Vinding.
- 28, 29. Høje og smalle Individer med stump Skalspids; Fig. 29 med omtrent cylindrisk Skalform.
- 30—34. *V. antiqua* Sowb. med mindre Afvigelser fra Typen.
- 35—38. Unge Individer af *V. antiqua* typ.
- 39. *V. antiqua* typ. Skal set fra Undersiden visende Navlens Udseende.
- 40. Ganske fladspiret Individ af *V. antiqua* Sowb.
- 41—45. Individer af 2den Variationsrække (se pag. 94).
- 46. *Valvata piscinalis* Müll. typ. fra Furesøens Afløb Mølleaaen.
- 47—52. *Ancylus lacustris* L. Maalestok i halve Millimetre.
- 53—56. *Valvata macrostoma* Steenbuch. Maalestok i halve Millimetre.
- 57—59. *Planorbis vortex* L. Naturlig Størrelse.
- 60—64. *Planorbis albus* Müll. var., svarende til Tekstfig. 31—34. Naturlig Størrelse.





Tavle IV.

Fig. 1—8. *Limnæa stagnalis* L. Naturlig Størrelse. Fig. 3 og 4 Unger, Fig. 5—8 voksne Eksemplarer af Varieteten *subulata* Wstld.

9, 10. *Anodonta cygnea* L. f. *macula* Shepp. Unge Individuer.

11 14. *Pisidium casertanum* Poli,  $\times 7$ .

— 15 18. *Pisidium amnicum* Müll. (Maalestok i halve Millimetre).







Tavle V.

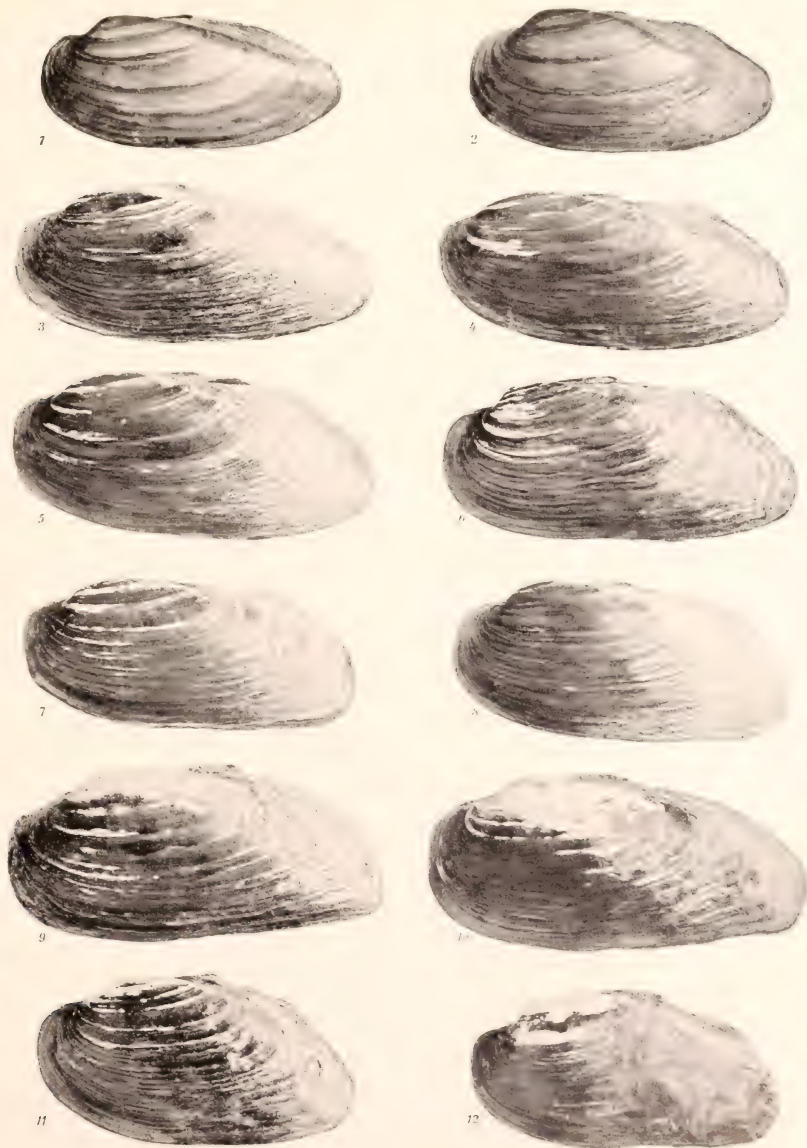
*Unio pictorum* L.

Naturlig Størrelse.

Fig. 1, 2. Den typiske Form.

— 3—8. De firkantede (rhombisk—trapezoedriske) Former.

— 9—12. Eksemplarer med nedadbojet bageste Skaldel, saakaldte »geschnabelte« Former.

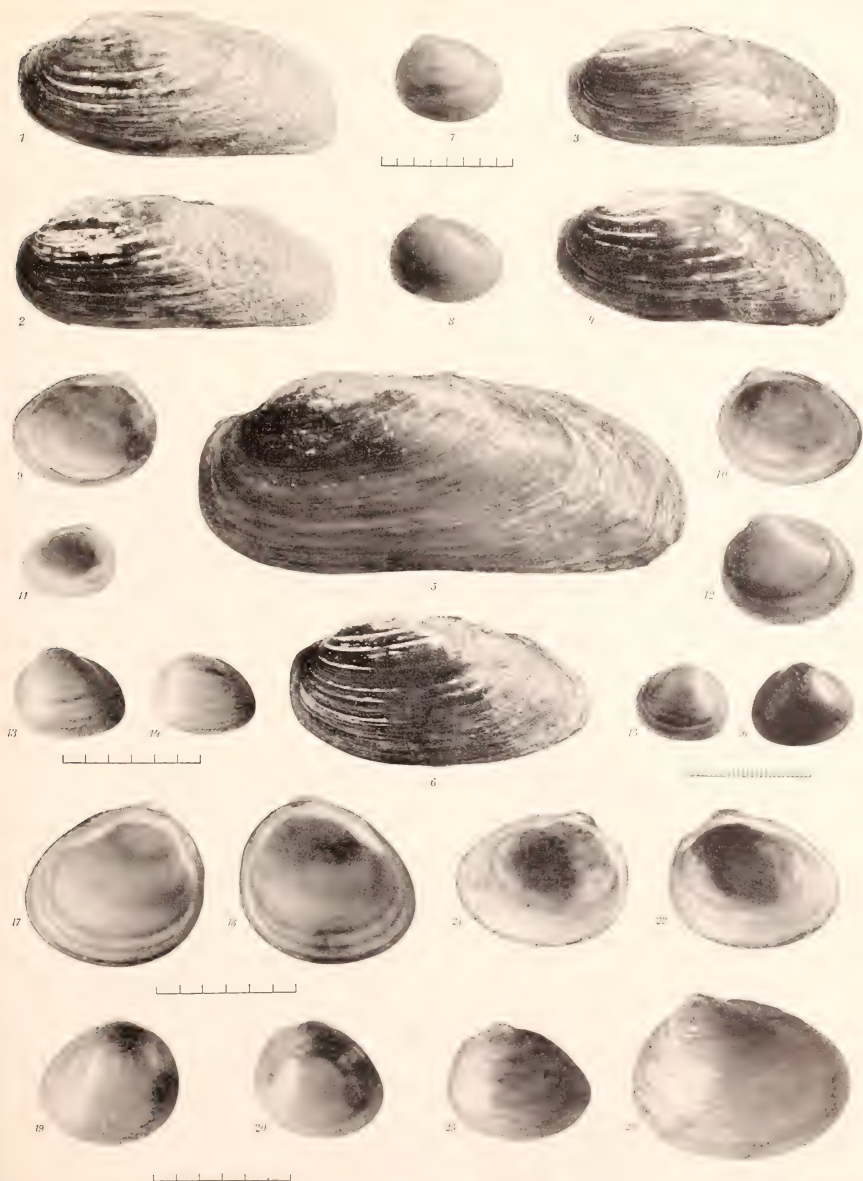






## Tavle VI.

- Fig. 1—6. *Unio pictorum* L. Naturlig Størrelse. 1—5 Eksemplarer med nedadbøjet »Næbe«, 6 den korte, ovale Form. (Fig. 5 er fotograferet efter et Individ fra Docent R. H. STAMM's Samling).
- 7—12. *Pisidium subtruncatum* Malm.
  - 13—14. *Pisidium milium* Held.
  - 15—16. *Sphaerium corneum* L.
  - 17—18. *Pisidium casertanum* Poli. Den tykskallede Søform.
  - 19 20. *Pisidium pulchellum* Jenyns.
  - 21 24. *Pisidium henslowianum* Shepp. Forstørrelsen c. 7, omtrent som ved *P. subtruncatum*. For Pisidiernes og Sphaeriums Vedkommende kan Forstørrelsen ses af de vedføjede smaa Maalestokke, der angiver halve Millimetre.





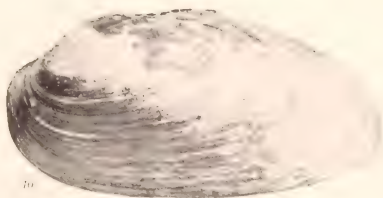
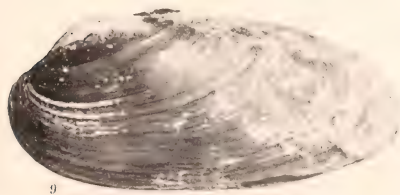
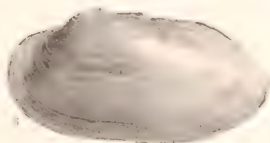
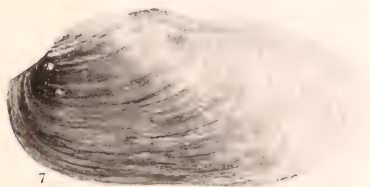
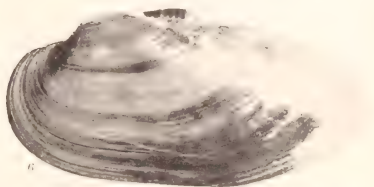
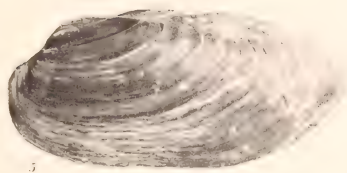
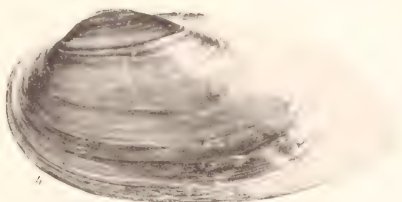
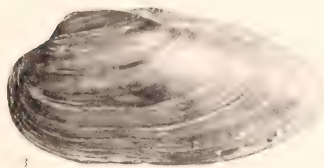
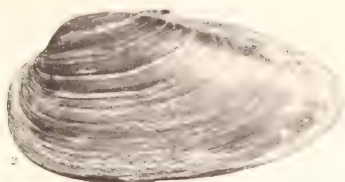
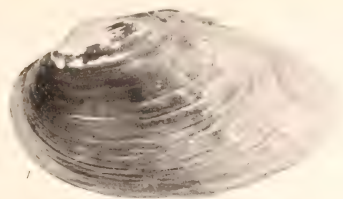


Tavle VII.

*Unio tumidus* Retz.

Naturlig Størrelse.

- Fig. 1, 2, 4, Formen *conus* Spengl.  
— 3, 5-8. Den *pictorum*-lignende Form.  
— 9, 10. Den ovale Form.





Tavle VIII.

Fig. 1.—7. *Unio tumidus* Retz. Naturlig Størrelse.

- 1. Eksempel af den ovale Form, men med nedadbøjet »Næb«.
  - 2. Den ovale Form.
  - 3. 4. Eksemplarer set fra Rygsiden. Fig. 4 et skævt Individ fra Stenbund.
  - 5. Individ med nedadbøjet »Næb«.
  - 6. Overgangsform mellem *tumidus* typ. og *f. conus* Spengl.
  - 7. Eksempel af *tumidus* visende den karakteristiske Skulptur paa Umboerne
  - 8—10. *Anodonta cygnea* L. — Fig. 8 *f. macula* Shepp.
-







## KAPITEL VI

### Furesøens Bundfauna

af

C. WESENBERG-LUND.

#### Om Søbundens Zoner og Inddelingsprincipperne.

Der skal i dette Kapitel søges at give en Oversigt over Furesøens Bundfauna, for saa vidt som den ikke allerede er omtalt. Foruden de ældre Undersøgelser, især FOREL's over Genfersøen, foreligger fra nyere Tid adskillige Studier over større Søers Bundfauna navnlig ZSCHOKKE's over Vierwaldstättersøen (1911) v. HOFSTEN's over Thuner- og Brienzersøen (1911), FEHLMANN's over Luganersøen (1912) og EKMAN's over Vättern (1915). Over Søbundens Fauna i de mindre baltiske Søer med Maximaldybder paa 30—50 m foreligger der vel forskellige mindre Meddelelser, men mærkelig nok ikke en eneste gennemført Undersøgelse.

Selv om der m. H. t. til Søbundens Inddeling i Bælter hos de ovennævnte Forff. er nogen Vaklen tilstede, er der dog paa dette Omraade bragt en vis Enighed tilveje. Kun mærker man, at Studiet af Søbundens Dyreliv overalt er foretaget i store og dybe Søer med Dybder paa over 100—300 m. Direkte at anvende den Terminologi, som disse Forff. har brugt, lader sig for de lave baltiske Søer næppe gøre.

Mest i Overensstemmelse med EKMANN vilde jeg som en nærmere Inddeling af Søbunden i Zoner eller Regioner foreslaa følgende Terminologi. Søbunden inddeles i 4 Regioner:

- Den abyssale Region.
- Den profunde Region.
- Den sublitorale Region.
- Litoralregionen.

Den abyssale Regions øverste Grænse bør sættes ved c. 400—600 m; den gaar ned til de dybest maalte Punkter paa Jordoverfladen dækket med Ferskvand. Om denne Region nærmere bør underafdeles, vides ikke. Den findes saa godt som ikke repræsenteret i nogen europæisk Sø, da Dybden i disse kun rent undtagelsesvis naaar 400 m. Den abyssale Region og dens Fauna er kun ufuldstændig kendt; den er kun noget nærmere studeret for Baykalsøens og Tanganyikasøens Vedkommende. Som fremhævet af KOROTNEFF (1904) er det først henimod 600 m, at man i Baykalsøen

træffer Ferskvandsfaunaens Dybvandskarakterer vel udviklede, og at den ekstremt uddannede Dybvandsfauna findes. MOORE's (1903) og andres Studier over Tanganyikasøens Fauna giver et ganske lignende Resultat, Endvidere er det kun i denne abyssale Region, at der udvikler sig en artrig Fauna, ene knyttet til denne Region og aldrig paavist udenfor den. Der henvises bl. a. blot til de 300 Arter af Amphipoder, der er kendt fra Baykalsøens abyssale Region og til Tanganyikasøens prosobranche Sneglefauna.

Den profunde Region gaar fra c. 4—600 m og op til 50—20 m, Det er den, der danner Størstedelen af Søbunden i vore større og dybere europæiske Søer, og hvis Fauna er blevet studeret af de ovennævnte Forskere. Som rigtig fremhævet af EKMAN (bl. a. 1915 p. 25) indeholder denne Region nok tilsyneladende mange nye Arter. Men gaar man Faunalisterne fra de forskellige Søer efter med Kritik, faar man et ganske andet Resultat. For mange af disse Arter bør man formode, at nærmere Undersøgelser vil paavise dem i Lavvandsregionerne; andre er kun biologiske Variationer uden arvelig Fixering. Det gælder f. Ex. efter de nyeste Undersøgelser Genfersøens profunde *Limnæa*-Arter. En Del skyldes et i altfor høj Grad specialiseret Artsbegreb. Der er Forskere, der har følt sig forpligtede til at „sørge for“, at hver eneste ny undersøgt, dyb Søbund fik sine egne *Pisidium*-Arter. Hvad de glaciæle marine Relikter angaar, som maaske bør henregnes til den profunde Region, er flere af disse ganske vist stærkt afvigende fra de marine, men Afvigelserne skyldes ikke, som EKMAN vistnok rigtig fremhæver, Opholdet i den profunde Region, men Overgangen fra Livet i Havet til Livet i Ferskvand.

I Virkeligheden kommer man til det mærkelige Resultat, at Dybder ned til 4—600 m ikke er i Stand til at blive Udviklingscentre for nye Arter. I hvert Fald tyder Faunaen i alle hidtil undersøgte europæiske Søers dybeste Søbunde ikke herpaa. Man kan vanskelig danne sig en Forestilling om den Skuffelse, jeg følte, da jeg efter to Dage igennem at have travlet over de største Sødybder i Loch Ness (250 m) ikke fik noget andet Resultat end nogle Oligochæter og ganske faa Ostracoder. Jeg mindes levende, hvor stærkt Sir JOHN MURRAY, af hvem jeg den Gang var indbudt, fremhævede for mig den enorme Forskel mellem Fattigdommen paa Arter i Søbunden paa Loch Ness og Artsrigdommen paa Havbunden udenfor. Senere hen, da jeg sammen med FOREL trawlede over Genfersøens Bund og med ZSCHOKKE o. a. over Vierwaldstattersøen, kunde man vel føle sig slaet over den Rigdom paa Arter og Individer, som Skraberens bragte op. Alligevel maatte jeg sige til mig selv, at bortset fra et Par Arter har hele Materialet, i hvert Fald løseligt set, Litoralzonens Præg. En gennemført Undersøgelse vil ikke forandre denne Førsteopfattelse kendelig.

Faunaen i denne profunde Region lader sig derfor ikke, som Tilfældet var med den abyssale, særlig karakterisere fra Lavvandsfaunaen; mere gennemførte Undersøgelser af de profunde Myggelarver vil maaske dog give et noget andet Resultat. For de europæiske Søers Vedkommende kan man muligvis fremhæve, at de Former, der mest karakteriserer den i de nordligere Søer, er visse af de glaciæle marine Relikter, i de melleuropæiske Søer Skyggefauunaen med *Asellus coarctatus foreli* og *Niphargus puteanus foreli* som Hovedformer. Begge Grupper er ikke oprindelig hjemmehørende i den profunde Region; den ene stammer fra Havet, den anden fra underjordiske

Vandmasser, men begge har i den profunde Region fundet passende og bedre Livskaar end i Søernes Lavvandsregion, i hvilken de iøvrigt ingenlunde ganske mangler.

Da jeg i sin Tid sammen med Sir JOHN MURRAY trawlede i Loch Ness, ved jeg, at vi den Gang som Forklaring paa de dybe, europæiske Søbundes Mangel paa særlig Fauna fremsatte den samme Formodning som den, jeg ser EKMANN har fremsat (1915 p. 27), at de europæiske Søer er altfor unge til, at vi kan vente, at de profunde Livsvilkaar skulde kunne have skabt en Egenfauna. I Følge DE GEERS Undersøgelser skal Vätterns Ferskvandsfauna ikke kunne sættes til en Alder af over 9000 Aar.

Den sublitorale Region gaar fra 50—20 m til noget udenfor Vegetationszonens Ophor. I de forskellige Søer gaar Vegetationen ned til forskellige Dybder. I Vättern skal Characeezonen gaa helt ud til mindst 30 m (EKMANN 1915, pag. 161). I Bodensø, Genfersø og Luganersø omtrent til samme Dybde; i de fleste andre undersøgte europæiske Søer til 15 m mindre. Nedatit er Regionen vistnok bedst karakteriseret ved, at 50 m er den yderste Grænse, hvortil Molluskerne, naar Pisidierne undertages, gaar ud i Søerne; i de fleste og navnlig i de baltiske Søer standser de længe forinden. Rigelig Repræsentation af Najader, især *Unio*, og af Ferskvandets Gælle-snegle, særlig *Valvata*, er maaske det Element, der bedst karakteriserer denne Region. Mollusklivet i Forbindelse med Manglen af Vegetation medfører visse for denne Regions Bundarter karakteristiske Ejendommeligheder (se senere).

Litoralregionen gaar fra Vegetationens yderste Grænser til øverste normale Vandstandslinie. Den lader sig yderligere inddele, dels i Brændingszonen og det rolige Vands Zone (Bugter, Vige), dels efter Planterne i forskellige Bælter. I de fleste baltiske Søer vil man kunne adskille et *Scirpus-Phragmites*-Bælte, et *Potamogeton*-Bælte, de submerse Planter Bælte (væsentlig Characeer og *Elodea*) og yderst et i Almindelighed ret svagt udviklet *Cladophoracee*-Bælte.

Det forekommer mig, at der i enhver Sø med Dybder paa over ca. 20—30 m, særlig beliggende i den tempererede og vistnok ogsaa i den tropiske Zone, altid maa være to ret skarpt markerede Linier: Vegetationens yderste Grænselinie og den Linie, der angiver de yderste Grænser for Mollusklivet, bortset fra Pisidier. Disse Linier vil det formentlig være naturligt at anvende som Grænselinie mellem den profunde, den sublitorale og litorale Region.

Mange vil muligvis anse det for ganske unaturligt at forskyde Grænsen for den profunde Region helt op til 20 m. Jeg har gjort dette af Hensyn til alle saadanne Søer, hvis Dybder ikke overstiger ca. 50 m, f. Eks. Hovedmassen af de baltiske Søer. Det vil af dette Arbejde fremgaa, at det, der karakteriserer disse Søer, er de udenfor ca. 20 m beliggende store, svagt heldende, gytjedeckede Flader uden Vegetation. Disse Flader har i langt højere Grad Karaktertræk fælles med de store, dybe Søers profunde Region, end man skulde tro. Paa Grund af de baltiske Søers ringe Gennem-sigtighed er Mørket paa 30—40 m i disse Søer vistnok, navnlig i Sommerhalvaaret, ikke synderlig mindre end paa flere Hundrede m i større Søer. Da Bundstrømme rimeligvis næsten ganske mangler, deres Virkninger er i alt Fald aldrig paavist, er der her snarere mere Ro end i de store Søers større Dyb. Svingningerne i Aarstemperaturen er ikke nær saa forskellige i de to Slags Søer, som man skulde tro. Ved Bunden af Furesø (36 m) svinger Temperaturen i Aarets Løb (1906—1907) normalt kun fra



2,5 til 8,2, men kan naa 11° C. I store Dele af Aaret er den 4—6°. Ved Bunden af Genfersø er den aarlige Temperaturamplitude 3,95 til 5,3. Kun i Henseende til Ilt-mængden frembyder, som vi senere skal se, de to Slags Søer, meget store Forskelligheder. Disse de baltiske Søers vegetationsløse Gytjeflader er befolket af en fattigere, men iøvrigt ganske den samme Fauna som de dybe Søers profunde Region. Skal de baltiske Søers Søbund inddeles i Bælter, og vil man anvende den Terminologi, som de Forskere har brugt, der kun har undersøgt de store dybe Søer, vilde man komme til ganske absurde Resultater. Idet de sætter den sublitorale Zone ganske vilkaarlig fra ca. 2—4 m og ned til c. 30—50 m, maatte man næsten henregne de baltiske Søers hele Søbund til denne Zone. Da det paa den anden Side er af Vigtighed, at der for Søbundsundersøgelserne skabes en fast Terminologi, og da de baltiske Søer faktisk nedenfor 20 m har en Region, der, saavel hvad dens alm. fysiske Forhold som hvad dens Fauna angaar, har langt mere fælles med de store Søers profunde Region, end man fra første Færd skulde være tilbøjelig til at tro, er det af Hensyn til disse Søer forsvareligt at sætte den profunde Grænse helt op til 20—30 m. Det første Tal gælder de lave baltiske Søer, det sidste de dybe Søer med Dybder paa 100 m eller derover.

Furesøens Bund bør altsaa inddeles i 3 Regioner; Litoralregionen, den sublitorale Region og den profunde Region. Litoralregionen gaar ud til den sluttede Vegetations Ophør  $7\frac{1}{2}$ —8 m. Den sublitorale Region gaar fra  $7\frac{1}{2}$ —8 m til c. 20 m; den indeholder Skalbæltet og Brunjærnstensallejringerne; den profunde Region, der bestaar af de store, vegetationsløse Gytjeflader, gaar fra 20 m og ud til Søens dybeste Punkt 36 m.

### Dyrelivet i Furesøens Litoralregion.

Dyrelivet i Furesøens Litoralregion har tidligere været Genstand for Undersøgelse. Dette gælder særlig Regionens Brændingsfauna (W-L. 1908), der jo nu ogsaa er paavist andet Sted, men som i særlig store Søer, hvor Forholdene er meget urolige, ikke kan komme til Udvikling (Vättern, EKMAN 1915, pag. 377). Jeg har siden (1908) haft Lejlighed til at undersøge denne ejendommelige Fauna i adskillige andre danske Søer. Den synes overalt sammensat af næsten de samme Arter. Det kan kun bemærkes, at Arresøens stenede Brændingskyst i 1910 var beboet af talrige *Hydropsyche*-Larver, der spandt deres Spind ganske som i rindende Vande.

I de side, af Planter og Detritus opfyldte Bugter findes et overordentlig rigt Dyreliv. Insekterne spiller her en stor Rolle. Der er i disse Bugter fundet mange sjældne Former, der ofte har været Genstand for Undersøgelse. I det store og hele er deres Fauna dog næppe særlig forskellig fra den, vi træffer i vore vegetationsrige Smaasøer og Damme.

Ikke heller til *Scirpus-Phragmites*-Bæltet er der, saavidt jeg kan se, knyttet nogen særlig Fauna. Kun kan det maaske fremhæves, at dette Bæltes Yderrand vistnok er Hovedopholdsstedet for de store Limnæer, for Anabolierne og maaske for *Mystacides*-Larverne.

En særlig Interesse knytter sig til Dyrelivet ud over den submerse Vegetation.



## Furesøens Dyreliv i Vegetationszonen paa 4—7 m.

### Dyrelivet i Søernes submerse Vegetationsbælter.

Ofte naar jeg paa mine talrige Skrabeture paa Furesøen rystede Vandplanter ud i store Kummer og iagttog det Dyreliv, der saaledes viste sig for mig, slog det mig, hvor denne Fauna dog er forskellig saavel fra Litoralregionens som fra den, vi finder paa den submerse Vegetation i Moser og Damme. Da senere hen Undersøgelserne udstraktes til andre større Søer, blev det iøjnefaldende, at medens Dyrelivet i Moser og Damme paa den submerse Vegetation skifter fra Dam til Dam, er det paa 4—7 m i de større Søer i alt væsentligt det samme.

Det slog mig dernæst, at dette Dyreliv er yderst lidt kendt. Intet Sted fandt man det beskrevet; de større Søers Plankton, Dyrelivet i Litoralregionens inderste Del kender vi i de baltiske Søer ganske godt. Vi har en Del Oplysninger om, hvor langt de enkelte Arter gaar ud, men en samlet Fremstilling af Vegetationstæppernes Dyreliv, saaledes som det rører sig i ude i disses yderste Rand, derom foreligger der, mig bekendt, ikke nogen Skildring. Uafhængig af den bathymetriske Undersøgelse gik jeg da i to Aar hver 3die Uge i Tiden fra  $10/4$  til  $1/1$ , ud for at skrabe og indsamle Materiale til Studiet af dette Dyrelivs Historie. Meget ofte henstod Materialet Maaneder ad Gangen i Akvarierne. Mest studerede jeg Livet i Store Kalven og paa Faldet fra denne ned imod Dybet. Der er ofte samlet ind paa hver Plante for sig; Characeernes Myriophyllums og Potamogetonernes Dyreliv er holdt ude fra hverandre. Dette viste sig senere ikke at have være nødvendigt. Bortset fra enkelte Insekter, der er knyttet til bestemte Planter, findes de øvrige omtrent lige godt paa alle. Der er ikke søgt en nærmere Redegørelse for, hvilke Arter der lever paa 4 m og paa 7 m. Saalangt Vegetationen gaar ud, gaar ogsaa de fleste Dyr med, men Vegetationens yderste Grænse sætter en Stopper for Hovedmassen af de i det følgende nævnte Dyr.

Kort efter at de sidste Prover blev taget, lagde Isen sig over Store Kalven. Den brød vel op igen, men lagde atter til. I Mai har jeg begge Gange være ude for at tage Prover, men har hvert Aar faaet Skraberens i den Grad fuld af henraadende, brun Vegetation, at det dyriske Materiale, jeg fik samlet, kun blev grumme lidt. Storme og lange Regnperioder hindrede mig yderligere. Skont jeg ganske vist ikke tror, at Tabet er synderlig stort, beklager jeg dog, at Undersøgelsen ikke raader over gode Maiprøver.

Inden vi gaar over til at omtale denne Fauna, vil et Par Bemærkninger om Milieuet vistnok være paa sin Plads.

Den submerse Vegetation er jo skildret andet Steds. Vi fremhæver her igen kun det Faktum, at denne ganske fortrinsvis optræder i Store Kalven, hvor den dækker en c. 3—4 m under Vandspejlet liggende Slette ca. 2—3 Kilom. lang og ofte over 1 Kilom. bred. Fra denne Slette udgaar ved Store Kalvens Munding to Arne, der i en Dybde af c. 4—7 m omringer hele Søen; hertil kommer saa de to vegetationsklædte Banker midt i denne. Det submerse Vegetationsbæltets Bredde ude i Søen er vanskeligt at angive, dog skulde jeg personlig tro, at det kun rent undtagelsesvis er over 10 m bredt, ofte vistnok meget smallere. Nogen nævneværdig Forskel i Dyre-

livet i Store Kalven og ude i Bæltet i Søen har jeg ikke kunnet finde. Det kan i al Alm. kun siges, at det er rigest i Store Kalven.

Planterne i disse undersøiske Engstrækninger er ingenlunde lave; *Elodea* og *Tolypellopsis* naar i Bæltets yderste Del ofte en Højde af over 1 m; de staar i sluttede, tætte Bestande lige saa tæt som Planterne i en Græsmark. Som oftest raader pletvis en enkelt Plante, men de enkelte Planter grænser pudeformet tæt til hverandre. Paa Dage i meget stille Vejr og højt Sollys kan man iagttage Vegetationen paa

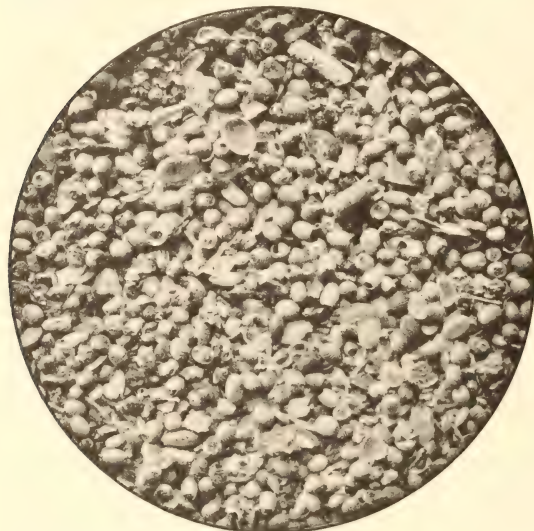


Fig. 52. Bundprøve fra Store Banken. Dybde 7 m. De ægformede dels glatte, dels spiralsnoede Legemer er Characeesporer. En Del *Pisidium*-Skaller; nogle *Bithynia*-Laag; enkelte Kalkrør (Characeebelagninger rimeligvis af *Tolypellopsis*); faa Ostracodeskaller. Svagt forstørret. Fot. af Docent Stamm.

Decbr.—Jan. trækker den aldeles overvejende Del af Dyrelivet sig ud paa Vegetationen paa dybere Vand. Over de henraadnende Masser inde paa 3 m bringer Skraberen i Decbr.—Jan. kun et stadigt aftagende Dyreliv op (Iagttagelser i Jan. 1917).

Bunden ude under den submerse Vegetation er meget forskellig fra den, der er skildret ude over de vegetationsløse Gytjeflader. Den er lysere af Farve og indeholder store Mængder af Kalk, der er produceret dels af Molluskerne dels af Planterne især Characeer og *Potamogeton*. Nedadtil gaar disse øverste, hvidlige Kalkaflejringer iblandet med Materiale fra den henraadnende Vegetation over i et graaligt Dynd,

c. 5—6 m. I Store Kalvens yderste Del ser man da ned paa store, sammenhængende Bevoksninger dels af *Elodea*, dels af *Tolypellopsis*. Bølgerne maa sikkert ofte sætte Planterne i svingende Bevægelser. Gennem dette sammenhængende Vegetationstæppe bryder *Batrachium*- og *Potamogeton*-Arter op til Overfladen. Naar Vinteren kommer, synker Vegetationen ned lige ud til 3 m, *Batrachium* og *Potamogeton* ligger som brune Kager paa Bunden, *Tolypellopsis* synker sammen til gulhvite Trævler. Udenfor 3—4 m holder Skovene sig imidlertid friske, grønne; dette gælder særlig *Elodea*, *Ceratophyllum*, *Batrachium*, i mindre Grad vistnok Characeerne. I

der har en overordentlig ilde Lugt. Sigtes denne Bund paa grov Sigte, viser den sig at indeholde uhyre Masser af Plantetrævler, der endnu hist og her, særlig oppe i Fiskebækbugten, findes noget udenfor Vegetationsbæltet. Det naar dog kun sjælden ud i det egentlige Skalbælte. Paa visse Steder, f. Eks. paa Skraaningerne af Bankerne midt i Soen optræder disse Plantetrævler kun i mindre Grad. Dyndet er her fint pulveriseret Slam, iblandet talrige Kalkpartikler. Sigtes dette Slam, og tørres det, viser det sig at indeholde uhyre Mængder af Characeefragmenter, Kalkrør  $\frac{1}{2}$ —1 cm lange, vistnok overvejende hidrørende fra *Tolypellopsis*, Characeefrugter i næsten ufattelige Masser, dels med, dels uden Kalkbelægninger, Skalrester af Muslinger, *Columella* af *Limnæa*, Laag af *Bithynia* og hele Skaller af Pisidier og Ostracoder. Hist og her findes indblandet Dækvinger af *Hæmonia*, *Planaria*-Kapsler, samt Fiske-skæl. *Bithynia*-Laagene kan paa visse Lokalteter, maaske mest lige udenfor Vegetationen, være tilstede i saa store Mængder, at en sigtet Prove næsten ikke synes at indeholde andet.

Betragter man Vegetationskortet over Furesø, vil man se, at den punkterede Linie angiver Vegetationens yderste Grænse. Det udenfor Linien beliggende vegetationsløse Areal er efter Generalstabens Opmaaling 533 ha. Da Furesøens samlede Areal udgør 935.8 ha., forholder den vegetationsdækkede Del sig til den vegetationsfri som ca.  $\frac{2}{5}$ . Man vil se, at en meget stor Del af det plantebevoksede Areal udgøres af Store Kalvens vegetationsdækkede Slette. For Søens samlede Thermik og Kemi spiller den sikkert den største Rolle. Ulykken er kun den, at denne næppe kan udtrykkes i Tal. Der kan kun henledes Opmærksomheden paa, at Bugten dels maa have Betydning som varmeproducerende Faktor, dels ved sin rige Vegetation baade som iltproducerende og under Kulsyreassimilationen som kalkudfældende Faktor.

Over disse undersøiske Enge med deres hvidgraa kalkholdige Bund rorer sig altsaa det Dyreliv, som vi nu skal søge at skildre i det følgende.

Der er i det følgende ikke taget Hensyn til Protozoer og Nematoder. Ferskvandets Protozoafauna trænger herhjemme i høj Grad til Bearbejdelse. Det samme gælder om vore større Søers fritlevende Nematoder.

## Spongozoa.

### Spongillidæ.

*Spongilla fragilis* Leidy. Ude i Randen af *Tolypellopsis*-Bæltet paa 7 m har jeg udfør Laboratoriet en eneste Gang faaet en overordentlig blød Svamp op. Den beklædte *Tolypellopsis* som lysegraa, svagt brunlige Masser, aldrig større end c. 3 cm lang og paa det tykkeste Sted c. 1 cm i Diam. Formen var kollo- eller tenformet. Den lysegraa Farve, den bløde Beskaffenhed, samt Manglen af Mikrosklerer bevirker, at jeg henfører disse Exemplarer til denne Art. Da Arten paa dette Sted ikke syntes at danne Gemmulae, er Bestemmelsen tvivlsom.

*Ephydatia fluviatilis* (L.) forekommer enkeltvis i smaa Kolonier paa Grene, der er taget op fra 4 m i Store Kalven. I uhyre Mængder i store Kolonier findes den i den inderste Litoralzones yderste Del paa *Phragmites* og Sten.

## Coelenterata.

*Hydra vulgaris* Pall. Optræder meget almindelig paa Vegetationen i Store Kalven, i hvert Fald ud til c. 4 m; den findes hele Aaret ogsaa i Januar i stor Mængde.

## Vermes.

## Turbellaria.

Paa 4—7 m særlig i Store Kalven træffes et ikke ubetydeligt Antal Turbellarier. Desværre er det en af de Ferskvandsdyregrupper, til hvis Systematik mit Kendskab kun er meget ringe. Det var ikke vel muligt samtidig med alt det øvrige Arbejde at naa til at bestemme Turbellarierne i levende Live. At konservere dem frembyder store Vanskeligheder. Jeg indsætter efter BRINCKMAN en Liste over Furesøens Turbellarier; om flere angives det, at de lever enten paa ret dybt Vand eller paa Bænke. Naar undtages Alloiocoelerne, vil de rimeligvis alle kunne træffes i Store Kalven.

## Rhabdocoela.

|   |  |
|---|--|
| <i>Macrostoma hystrix</i> Ørsted        | <i>Mesostoma Ehrenbergii</i> Müller          |
| <i>Microstoma lineare</i> Ørsted        | — <i>tetragonum</i> Müller                   |
| — <i>caudatum</i> Ørsted                | — <i>lingua</i> Abild. var. <i>lacustris</i> |
| — <i>giganteum</i> Hallez               | <i>Bothromesostoma Esseni</i> M. Braun       |
| <i>Stenostoma leucops</i> O. Schmidt    | <i>Olisthanella Nassonoffi</i> L. Graff      |
| <i>Prorhynchus stagnalis</i> M. Schultz | <i>Gyrator nolops</i> Dugès                  |
| <i>Castrada viridis</i> Volz.           | <i>Vortex sexdentatus</i> Graff              |
| — <i>armata</i> Fuhrm.                  | <i>Castrella serotina</i> Dörner             |
| — <i>Hofmanni</i> M. Braun              | <i>Vortex pictus</i> O. Schmidt              |
| <i>Strongylostoma radiatum</i> Müller   |  |

## Alloiocoela.

*Automolus morgiensis* Dupl.  
*Plagiosstoma lemani* Pless.

## Dendrocoela.

*Dendrocoelum punctatum* Weltner forekommer fortrinsvis i Brændingszonen, paa Stenene, men er nu og da taget i Store Kalven, 4 m. Den danner vistnok ogsaa sine Kapsler herude. I hvert Fald findes de i sammenrullet Tilstand under Vegetationen. De friske Kapsler findes i det meget tidlige Foraar i uhyre Mængder paa Stenene og i Opskyl. Bortset fra Kogeaa, hvor jeg nylig har fundet den, er den næppe kendt andre Steder her i Landet.

*Dendrocoelum lacteum* Müll. ret alm. paa Vegetationen.  
*Polycelis nigra* Ehrb. set enkelte Gange i Store Kalven.

## Rotifera.

Jeg havde ventet, at en nærmere Undersøgelse af Rotifererne ude paa 4—7 m skulde have givet interessante Resultater. Dette synes ikke at blive Tilfældet. Bortset fra enkelte Floscularider og Notommatider, som jeg ikke har kunnet bestemme nærmere i sammentrukken, konserveret Tilstand, har jeg kun fundet følgende delvis Planktonformer, hvoraf ingen er optraadt i særlig stor Mængde,

*Asplanchna priodonta* Gosse  
*Synchaeta pectinata* Ehrenberg  
 — *tremula* Ehrenberg  
*Triarthra longiseta* Ehrenberg  
*Polyarthra platyptera* Ehrenberg  
*Notommata* sp.  
*Rallulus capuzina* Jennings  
*Salpina mucronata* Ehrenberg  
*Colurella bicuspidata* Ehrenberg  
*Brachionus Mülleri* Ehrenberg

*Brachionus angularis* Gosse  
 — *pala* Ehrenberg  
*Anuræa aculeata* Ehrenberg  
 — *cochlearis* Gosse  
*Notholca longispina* Kellicott  
 — *foliacea* Ehrenberg  
*Ploesoma Hudsoni* Imhof  
*Gastropus stylifer* Imhof  
*Anapus testudo* Lauterborn  
 — *ovalis* Bergendal

## Bryozoa.

*Cristatella mucedo* Cuv. er taget i faa Exemplarer paa Vegetationen i Store Kalven; dens Statoblaster ses ikke sjældent i Opskyllet.

*Plumatella* sp. Det er et overmaade almindeligt Fænomen at finde Musling-skaller helt ud til 15 m rigt besatte med lange Rækker af siddende Bryozostato-blaste. Skønt Hundreder af saadanne Muslingskaller har passeret mine Hænder, har jeg aldrig faaet en eneste levende *Plumatella* op. Fænomenet lader sig kun vanskeligt forklare.

## Oligochæta.

Om Furesøens Oligochæter og den Dybde, hvorpaa de findes, skylder jeg Mag. A. DITLEVSEN Tak for de Oplysninger, der er benyttede her.

I 4—7 m Bæltet er paavist følgende Arter.

*Æolosoma quaternarium* Ehrenberg  
*Nais elinguis* Müll.  
*Stylaria lacustris* L.  
*Chætogaster diaphanus* Gruith.  
*Paranais uncinatus* Ørst.

*Lumbriculus variegatus* Müll.  
*Psammoryctes barbatus* Grube  
*Lophochæta ignota* Stoll.  
*Heterochæta ferox* Eis.  
*Limnodrilus Udekemianus* Clap.

## Hirudinea.

*Piscicola geometra* L. En overalt i en Dybde af 4—7 m overmaade almindelig Form. Den findes i Mængde i Store Kalven og træffes her til enhver Aarstid, ogsaa i Januarproverne. Dens Kapsler, der er aflange og brunstribede, er almindelige paa Vandplanter. Kapslerne er blevet klækkede i Laboratoriets Akvarier. I Timevis kan



Dyrene sidde udstrakt, stive som Pinde paa Vandplanter. Sætter man Karpefisk ned i Akvarierne, er i Løbet af ganske kort Tid alle Iglerne gaaet over paa Fiskene. Nærmer man en Blyantsspids eller lign. til den i Vandet udstrakte Igle, ser man i samme Nu Dyret strække sig tilbage; den gaar ikke over paa denne. Kun Iglere, der har sultet i 3—4 Uger og i denne Tid har siddet omtrent paa samme Sted stift udstrakte, er parate til at svippe over paa hvadsomhelst, der kommer i deres Nærhed.

*Glossiphonia (Clepsine) complanata* L. Mulig ogsaa andre Arter, der i den stærkt sammentrukne Tilstand desværre ikke kunde bestemmes.

*Herpobdella (Nephelis) atomaria* Carena er talrig overalt paa 4—7 m og findes i Mængde over Store Kalvens Vegetation.

I Sommerproverne findes der i alt Materialet, der er hentet fra sidstnævnte Sted, en uhyre Mængde *Nephelis*-Yngel. Akvariernes Sider kan ganske skjules af dem. Henimod Efteraaret tager Antallet af, og i Vinterprøverne mangler de næsten fuldkommen. Paa dette Tidspunkt dækkes Stenene inde ved Bredden med Masser af *Nephelis*-Kapsler. Mere gennemførte Undersøgelser mangler, men adskilligt tyder paa, at Overvintringen overvejende foregaar i Kapselstadiet inde ved Bredden, hvorpaa Ynglen i Foraartiden spredes udad over den submerse Vegetation, hvorfra den efter at være bleven kønsmoden delvis søger tilbage til den inderste Litoralzone igen. Iøvrigt anvendes ogsaa Muslingerne ude paa indtil 8—10 m i høj Grad til at afsætte Kokonerne paa; de findes fortrinsvis paa Indersiden af de tomme Skaller.

## Arthropoda.

### Crustacea.

#### Copepoda.

*Cyclops strenuus* Fischer. Almindelig; træffes i alle Prøver.

*Cyclops viridis* Jurine. Almindelig i alle Prøver og findes i hvert Fald ud til Vegetationens yderste Grænser. Den synes i Store Kalven at have et Maximum om Foraaret.

*Cyclops macrurus* Sars. Almindelig; det synes, som om dens Maximum ligger om Sommeren.

*Cyclops serrulatus* Fischer. Ikke saa hyppig forekommende som de andre Arter.

*Cyclops fimbriatus* Fischer. Kun fundet i faa Exemplarer nu og da i Store Kalven.

*Canthocamptus staphylinus* Jurine optræder nu og da enkeltvis. I Store Kalven optraadte den, muligvis pletvis i Efteraaret i uhyre Masser. I Lysranden dannede der sig blaa Linier og Pletter af Tusinder af denne Art.

#### Ostracoda<sup>1)</sup>.

*Cyclocypris ovum* Jurine

*Herpocypris reptans* Baird

*Cypridopsis vidua* O. F. Müller

*Cypria elegantula* Fischer

*Candona candida* O. F. Müller

— *Wellneri* Hartwig

— *neglecta* Sars

*Cytheridea lacustris* Sars

<sup>1)</sup> velvilligst bestemt af Dr. ALM., Upsala.



## Cladocera.

*Sida crystallina* O. F. Müller forekommer i alle Prøverne og findes ud over hele Store Kalven, i hvert Fald ud til 5 m. Den viser sig næppe før i Slutningen af Mai. Der er kun parthenogenetisk Formering lige indtil midt i September. Ægantallet Sommeren igennem er meget stort (10—12). Midt i September viser Hanner og Hvilæg sig; sexuel og parthenogenetisk Formering løber nu Side om Side med stigende Antal af Hvilæg (6—7). Tilsidst er den sexuelle Formering eneraadende. Midt i November træffes mange gølge Hunner; Arten er nu sjælden. Rimeligvis overvintrer den kun som Hvilæg. Arten optræder i uhyre Mængder paa Store Kalvens Vegetation; ryster man i Sommermaanederne *Polamogeton*-Planterne ned i et Glas, har faa Minutter efter Hundreder af *Sida*'er hæftet sig fast paa Glassets Sider.

*Simoecephalus vetulus* O. F. Müller spiller næppe helt saa stor en Rolle som *Sida*. Den er mærkelig sjælden om Sommeren, men faar i September et meget stort Maximum: i Slutningen af November er den sjælden igen. Der er aldrig paavist Hanner eller Ephippier. Arten synes her som visse Planktondafnier at formere sig asyklisk. Æg-antallet er stort (8—12), mindst i September (2—3).

*Scapholeberis mucronata* O. F. Müller. Kun fundet i enkelte Exemplarer.

*Ceriodaphnia pulchella* G. O. Sars. En paa 4—7 m særlig i Store Kalven meget alm. Art. Den er i Sommerhalvaaret ret sparsom, men har i September et meget stort Maximum. Det parthenogenetiske Ægantal er næppe over 2—4. Samtidig med Maximum i September begynder Sexualperioden med talrige Hanner og Ephippialdannelser med et Æg i Ephippierne. I Slutningen af November tager Individantallet af. Om Vinteren og i det tidlige Foraar spiller de smaa hvide *Ceriodaphnia*-Ephippier en stor Rolle i Opskylltet langs Kysten. De flyder her som snehvide Gryn i Vandbræmmen.

*Ceriodaphnia quadrangula* O. F. Müller. Arten er langt mere bunden til Litoral-regionens inderste Del. Ude paa dybere Vand findes den ikke nær saa hyppig som *C. pulchella*. Enkeltvis træffes den dog i de fleste Prøver fra Store Kalv; den har Sexualperiode samtidig med foregaaende.

*Eurycerus lamellatus* O. F. Müller er en overmaade alm. forekommende Form. Den er ret sjælden i Juni—Juli. I Sept.—Oktober er den dominerende og fandtes endnu i stort Antal i de sidste Novemberprøver. Ægantallet om Sommeren er stort (indtil 20), men aftager derpaa. Sexualperioden indtræffer først i November, da Hannerne er almindelige; de brune Ephippier indeholder 5—7 Æg. Man finder dem ofte løst liggende med Æggene i.

*Camptocercus rectirostris* Schoedler mangler ganske i Sommerprøverne; den viser sig først i September, men bliver i Oktober meget almindelig. Den er endnu i Slutningen af November en af Hovedformerne. Det parthenogenetiske Ægantal er meget ringe (1—2). I Oktober begynder Sexualperioden; Hannerne er ikke set i stort Antal; der er kun eet Hvilæg. Med den lange smalle Hale sætter de i Spring hen over Vegetationen; Arten frembyder stor Variation, hvad Hovedets Form angaar.

*Acroperus harpæ* Baird optræder fortrinsvis i Sommerprøverne; hen paa Efteraaret afløses den af *Camptocercus*. Der er aldrig paavist nogen Sexualperiode. Da

parthenogenetiske Æg findes ikke i Antal over 2. Ligesom foregaaende er det, særlig hvad Hovedskjoldet angaar, en yderst varierende Form.

*Alonopsis elongata* G. O. Sars. Arten forekommer vel i en Del Prøver, men altid kun enkeltvis.

*Alona quadrangularis* O. F. Müller var. *affinis* Leydig er kun fundet i 3 Prøver. Der er i den ene Prøve paavist en enkelt Han.

*Alona costata* G. O. Sars er kun fundet enkeltvis i et Par Prøver.

*Alona guttata* G. O. Sars kun paavist i et Eks. i en Prøve.

*Rhynchotalona falcata* G. O. Sars forekommer kun i faa Exemplarer i to Prøver.

*Graptoleberis testudinaria* G. O. Sars fundet i et Par Prøver i faa Exemplarer.

*Pleuroxus trigonellus* O. F. Müller set i enkelte Prøver enkeltvis.

*Alonella excisa* Fischer enkeltvis i faa Prøver.

*Chydorus sphaericus* O. F. Müller. Ret hyppig i adskillige Sommerprøver.

*Chydorus globosus* Baird optræder aldrig i stort Antal i Prøverne, men i adskillige af disse.

Naar alle de ovennævnte Lynceider optræder i saa ringe Antal, er det vistnok fortrinsvis, fordi der til nogle af Prøverne er anvendt for groftmaskede Net; endvidere fordi det var yderst vanskeligt at finde disse meget smaa Former i de store Mængder af Kalk, som Prøverne indeholdt.

#### Isopoda.

*Asellus aquaticus* L. forekommer i de fleste Prøver fra 4—5 m i Store Kalven i stort Antal, ude i Søen vistnok kun i ringe Mængde.

#### Amphipoda.

*Pallasiella quadrispinosa* G. O. Sars. Arten er meget almindelig og gaar ud over hele Vegetationen. Den er særlig hyppig over hele Store Kalven.

*Gammarus pulex* Fabr. Meget almindelig i Bunden under Vegetationen; men kun nærmest Bredden.

#### Decapoda.

*Astacus fluviatilis* Fabr. Til min store Forbauselse fik jeg en Efteraarsdag 1912 i Skraberens en meget stor Flodkrebs fra 4 m (Furesøens Østkyst). Det er den eneste Flodkrebs, jeg har taget ude i selve Furesø.

#### Insecta.

##### Perlida.

Furesøens Perlide, den iøvrigt sjældne *Nemura avicularis* Mort. har jeg hidtil aldrig taget udenfor inderste Litoralzone, hvor den under Stenene særlig lige efter Isløsningen er et ganske almindeligt Dyr. Den nævnes her, fordi den, som saa mange Litoralformer, muligvis om Vinteren gaar ud paa dybere Vand.

## Ephemeridæ.

*Cloëon*. Larverne spiller en overordentlig Rolle ud over de undersøiske Enge i Store Kalven og over *Tolypellopsis*-Bæltet hele Søen rundt. En eneste Skrabning i faa Minutter bringer Larverne op i Tusindvis. De findes til alle Aarstider og klækkes i uhyre Masser i Sommerens Løb.

Larverne hører, saavidt vides, udelukkende til *Pseudocloëon bifidum* Bgt.; de er velvilligt bestemt af Dr. S. BENGTON, Lund. En nærmere Undersøgelse baseret paa større Materiale indsamlet paa forskellige Dele af Søen vilde iøvrigt være ønskelig.

*Caenis*-Larverne er maaske næsten ligesaa almindelige som *Cloëon*-Larverne, men medens førstnævnte i deres lysegrønne Farve færdes over Algetepperne, kravler de hvidgraa, flade *Caenis*-Larver om nede paa den lyse Bund under Algerne. Man faar dem kun frem, naar Skraberne tager Bunden og denne sigtes. Da viser de sig imidlertid i stor Mængde. De gaar ud i den yderste Rand af Vegetationen og maaske endda noget der ud over.

Der optræder to *Caenis*-Arter ved Furesø, *C. hallerata* Fabr. og *C. dimidiata* Steph.; Larverne ude paa 4—7 m hører rimeligvis til begge Arter, men hidtil er det ikke lykkedes i Larvestadiet at kende dem fra hinanden. Hen paa Eftersommeren danner *Caenis*-Arterne som vingede Luftdyr uhyre Sværme ved Furesøens og Esromsøs Bredder. Paa visse Nætter hvidner alle Edderkoppespid af døde Subimagoer, som i Dødsojeblikket har afkastet deres Æggemasser i Spindene.

*Ephemer vulgata* L. Ude under Algetepperne paa de vegetationsløse Sletter med blødt Mudder ofte gaaende ud til 7 m findes de store, smukke *Ephemer vulgata* Larver. De lever her et rodende, borende Liv. De store Flokke af vingede Luftdyr, som i Sommeraftnerne staar ved Furesøens Bred, er Beviser nok paa, at Dyret er almindeligt; Larvens skjulte Levevis bevirker, at man ikke ser meget til den.

## Odonata.

Mærkelig nok synes ingen af de egentlige Guldsmede (*Anisoptera*) at træffes paa 4—7 m Vand. Brændingskysternes *Gomphus*-Larver gaar næppe ud over 1 m. Bortset fra Guldsmedelarverne i Søens faa, moselignende Bugter er *Gomphus* vist den eneste af Anisopternerne, der klækkes i den. Ganske anderledes er Forholdet med Zygopteriderne. Ude over Algetepperne findes fra September og lige til Juni-Juli uhyre Mængder af Zygopteridelarver, der vistnok alle ganske fortrinsvis tilhører Slægten *Agrion*. Foruden Larverne til *A. pulchellum* v. d. Lind og *puella* L. optræder her, og ganske særlig over Store Kalvens Algeskove, uhyre Mængder af Larverne til de to sjældne Arter *A. hastulatum* Charp. og *lunulatum* Charp. Arterne har Flyvetid sammen (c. 15. Juni—10 Juli). Paa visse Dage optræder de da i aldeles utrolige Masser. I de tre Sommermaanedene mangler Algetepperne næsten ganske Zygopteridelarver. Sommerproverne kontrasterer derved stærkt fra Vinterproverne, der indeholder dem i store Mængder. Hen paa Efteraaret begynder de ganske spæde, nyklækkede Larver at vise sig.

## Hemiptera.

Som Regel kan ingen Vandtæge i hvert Fald i Sommerhalvaaret siges at være hjemmehørende ude paa 4—7 m. Hvorfra de store *Sigara*-Flokke, som i Foraartiden stævner ind imod Land og paa visse Dage staar som en gul Bræmme langs alle Kyster, oprindelig kommer, ved jeg ikke. Man kan formode Overvintringspladser paa 4—7 m, men der vides intet.

Hele Sommeren igennem kan man nu og da ude fra 4—7 m faa enkelte af de mindre *Corixa*-Arter med i Skraberne, men de har vel snarere hørt til paa de svømmende Øer af *P. lucens* og *P. perfoliatus* end over Characetæpperne. Visse *Corixa*-Arter er derimod ganske almindelige forekommende Dyr inde paa *Chara*-Puderne paa lavt Vand ( $\frac{1}{2}$ —1 m), inde langs Brodenge (Store Kalven). Her fandtes de endnu i Antal i Januarprøver 1916. Det er næppe udelukket, at de dybere liggende Charatæpper kan være Overvintringspladser for disse Arter.

## Neuroptera.

*Sialis*. Ganske mærkelig er Forekomsten af *Sialis*-Larver ikke alene ud paa 7 m, men langt udenfor Vegetationen. Saa vel i Furesø som i Haldsø har jeg paa 15 m taget den i større Antal udenfor Skalbæltet. Næst Dipterlarverne er det vistnok af alle Insektlarver den, der gaar længst ud. Myggelarver maa herude rimeligvis være Rovdyrets eneste Næring. Den angives fra Vierwaldstättersøen lige ud til 50 m.

Da Dyret svømmer ret daarligt, og da det maa paa Land for at forpuppe sig, er det en lang Vej, Larven maa tilbagelægge, naar Forpupningen skal foregaa.

*Sisyra*. Det bemærkes, at Spongiller fra 4—7 m ikke har *Sisyra*-Larver.

## Trichoptera.

*Hydroptila*. Man finder meget ofte ude paa Characerne paa 4—5 m de nydelige, brilleformede Smaahuse dannede af Hydroptilider. Husene bestaar væsentligt af Kalkpartikler, som Dyrene har pillet af Planterne. Hovedarten er vistnok *H. femoralis* Eat., men da begge de andre Arter, *H. sparsa* Curt. og *pulchricornis* Pict., ogsaa findes ved Furesø, er disse Arter mulig ogsaa herude.

*Orthothrichia telensii* Kolbe. Det mærkelige Hus, der ikke er sammentrykt, men forsynet med mørkebrune, dybe Længdefurer, har jeg flere Gange fundet, dels paa Characere, dels fastsiddende paa den nedre Del af *Potamogeton lucens*-Stængler.

*Oxyethira costalis* Curt. Dette nydelige Dyr, der danner sig et meget smukt, flaskeformet, lysegrønt Hus, der er gennemsigtigt, spiller en ganske mærkelig Rolle ude paa 4—5 m Vand. Naar man, særlig i Vinterhalvaaret, tager Materiale ind fra Store Kalven, ser man ikke straks Dyrene. Naar Materialet derimod har staaet lidt hen, kommer de frem; det viser sig da, at Dyrene i Hundredevis kryber om paa Akvariernes Bund. Faa Dage efter frembyder Akvarierne et mærkeligt Skue. De er gennemkrydsede af tåløse, fine Traade; udad dem entrer Larverne, snart svingende Husene til højre, snart til venstre. Der maa være Partier af Store Kalvens Vege-

tation, som er ligesaa overspundet af disse Dyrs Traade som Marker og Enge en Efteraarsdag af Edderkoppernes. Denne spindende Evne hos disse Larver er hidtil ikke omtalt.

*Cyrnus flavidus* Mac. Lachl. Der findes i Furesø adskillige campodeide Trichopter-larver; mærkeligt er det at se, hvor forskellige de Livskaar er, hvorunder Larverne lever, og hvor nøje de er knyttet til bestemte Lokaliteter. *Holocentropus dubius* Steph. spinder sine Fangnet inde i de side Bugter, *Polycentropus flavomaculatus* Pict. i Brændingszonen, *Neureclipsis bimaculata* L. kun i det lille Stykke af Mølleaa, der løber mellem Farum- og Furesø og *Cyrnus flavidus* ude over Characeetæpperne og ved Bladfødterne af de store *Polamogeton*-Arter. Man ser deres Fangnet overalt paa Characeerne. Det er sandsynligt, at der herude ogsaa kan findes de tre andre *Cyrnus*-Arter, vi har her i Landet.

*Tinodes wæneri* L. Denne Art, der i Esromsø spiller en overordentlig stor Rolle, er sjælden i Furesø. Dens lange, bugtede Sandrør ses nu og da paa Sten, der tages op fra c. 2—3 m, samt paa Muslingeskaller. Den hører derfor egentlig ikke med i dette Selskab. Det er nærmest et Brændingsdyr.

*Phryganea striata* L. og *varia* Fabr. Det er ret mærkeligt, at de store *Phryganea*-Arter ikke sjældent træffes ude paa 4—5 m. Skraberen bringer Larverne op ikke alene fra Store Kalven, men ogsaa fra *Tolypellopsis*-Bæltet ude i Søen. Spiralerne er her dannede af rektangulære Smaastykker af henraadnende Barkstykker, Fragmenter af *Phragmites*, altsammen dødt Materiale.

*Molanna angustata* Curt. Det har forbauset mig meget at finde de yderst smukke *Molanna*-Rør, som er saa almindelige paa Brændingskysternes Sandflader, saa langt tilsoes som ud til 9 m. Det synes, som om Arten normalt lever herude; i hvert Fald kendes den ialt fra c. 25 Stationer; paa mange af Stationerne er den taget i Antal af 5—7. Rørene ude paa disse Dybder er vel af samme Form som inde ved Bredden, men de er opbyggede af andet Materiale. Medens de inde ved Land næsten udelukkende opbygges af de fineste Sandkorn, dannes de paa dybere Vand, mest i Skalbæltet, for en væsentlig Del af smaa bitte Skalfragmenter og mærkelig nok af *Bithynia*-Laag. Disse forskellige Partikler indføjes saaledes paa Røret, at den normale, flade Form med de store Vinger fuldt bevares.

Forholdet har en vis almen zoologisk Interesse. Det Bygningsmateriale, der staaar til Larvernes Raadighed, alt efter som de lever inde paa Brændingszonens svagt skraanende Sandflader eller ude paa dybere Vand helt ude til 9 m, er af forskellig Natur, i første Tilfælde fine Sandkorn, i sidstnævnte overvejende *Bithynia*-Laag. Larven er meget vel i Stand til at anvende begge Slags Materiale. I og for sig er dette mærkeligt nok, fordi Materialet er af saa yderst forskellig Beskaffenhed; i Brændingszonen omtrent isodiametriske Sandkorn, paa dybere Vand de mange Gange større, men tynde pladeformede *Bithynia*-Laag. Mærkeligere er det dog, at Resultatet af Larvens Bygningskunst i begge Tilfælde væsentlig bliver det samme: et Rør med store, vingeformede Processer.

Larven kan nok anvende forskelligartet Materiale, men den kan kun bruge det paa samme Maade. Det ejendommelige for den er ved store, flade, vingeformede Udvækster at skabe det typiske cylindriske Vaarfluerør om til en flad, aflang Skive.



Normalt anvender den Sandkorn, der i Antal af mange Hundreder kittes tæt til hverandre i eet Lag; paa den Vis frembringer den i Alm. Rørets Vinger. Spiller Tilfældet Larven *Bithynia*-Laag i Hænde, anvendes disse dels til at opbygge selve Røret, men desuden bruges de til at danne Vingerne; den anvender hertil kun c. 10—20 Stykker. De flade Rør, der har biologisk Værdi inde paa Brændingskysten, har næppe Spor af biologisk Betydning ude paa dybere Vand, hvor alle andre Phryganerør er cylindriske, og hvor ingen Form viser nogen af de Karakterer, der er ejendommelige for Brændingsdyr. Alligevel maa Larven herude selv med ganske unormalt Bygningsmateriale bygge sine Vinger. Udover den en Gang vedtagne Form for Rørtype kan Larven

altsaa ikke komme; den være nok saa meget kommet til Verden paa en Lokaltet, hvor den til specielle ydre Kaars afpassede Rørtype ingen biologisk Værdi har.

Det er ejendommeligt at træffe denne Art som konstant Beboer af saa store Dybder. Æggene lægges inde paa Sandflader, hvor de store Kugler om Sommeren er i stadig rullende Bevægelse. Gelemassen, de ligger i, er klæbrig, og snart er den omgivet af en Sandskorpe, der gør den mindre og mindre bevægelig. Den flader sig ud og ligger nu mere fast paa Sandet. Maaske fores disse rullende Kugler, kort efter at de er lagt, med Bølgerne udad over større Dybder. Ogsaa EKMANN (1915 p. 342) omtaler *Molanna* i Vättern fra 15—17 m.



Fig. 53. *Molanna angustata*. Øverste Linie. Røret bygget af Sand. Dyrene fra Furesøens Brændingszone.

Nederste Linie. Røret overvejende bygget af Laag af *Bithynia tentaculata*. Dyrene fra 6—10 m. Nat. St. Fot. af Docent Stamm.

*Mystacides*. Over Sivskovene i Eftersommeren opfører hvert Aar *Mystacides nigra* L. og *longicornis* L. deres luftige Danse. Mærkelig nok har jeg aldrig kunnet finde Larverne i større Antal, men tænkte, at en Undersøgelse fra 4—7 m vilde bringe dem frem i Mængde. Dette har den imidlertid ikke gjort; Larverne er stadig kun fundet enkeltvis, ikke i det store Antal, man burde vente.

Jeg maa formode, at de lever ved Randen af Sivbælterne. Deres Rør, der er let kendelige, fordi der til det alm. Leptoceriderør er føjet en eller to Smaapinde, længere end Røret og parallelt med dettes Længdeakse, findes nu og da ude paa 5—7 m, men de er næsten altid tomme.

*Leptocerus*. Adskillige Leptocerider lever øjensynlig konstant ude paa 4—7 m Vand; deres lange, sylformede Rør er her ganske almindelige. Larverne lader sig i



Øjeblikket ikke bestemme. Kun en Art *L. fulvus* Rbr. er let kendelig; dens for en Leptoceride mærkelige brede, flade Rør, opbygget af mørk Sekret uden synderlig Sand- eller Kalkbelægning, findes meget ofte i Spongillerne, hvori Larverne graver store Huller.

*Limnophilus* sp. Ude paa 5—7 m findes ikke sjælden Limnophiliderør, dels opbyggede af Plantestoffer, dels af Snegleskaller. Skallerne tilhører ganske væsentlig *Valvata*, hvad der overvejende tyder paa, at Dyrene faktisk har levet her. De er næsten alle tomme; de enkelte Larver, der er fundet, er af Lærer E. PETERSEN bestemt til *L. flavicornis*.

*Anabolia nervosa* Leach og *lævis* Zett. Anabolierne forekommer jo fortrinsvis inde paa indtil til m. Nu og da ser man dem vuggende deres Huse med de to lange Pinde indføjede ned langs Husenes Sider op og ned ad Skuddene i den yderste Rand af *Scirpus-Phragmites*-Bæltet. Herfra falder de undertiden ned og kan da forville sig ud paa Characeengene, hvor de iøvrigt næppe hører hjemme.

### Lepidoptera.

Ude paa Vegetationen, paa c. 3—4 m, træffes indhyttet i sammenspundne Dele af *Potamogeton*-Blade, i Hylstre af Characcenaale den smukke, snehvide Sommerfugle-larve *Paraponyx stratiotata* L. Den findes ogsaa paa *Stratiotes*, som nok maa anses som dens egentlige Foderplante, men den forekommer dog ogsaa hyppig udenfor den.

I samme Region, mest paa Bladene af *Potamogeton lucens* og *perfoliatus*, ofte ret langt nede, findes endvidere den mærkelige *Acentropus niveus* Oliv., karakteristisk ved at have to Hunformer, en vinget og en uvinget. Larven er yderst almindelig; den er taget ind i Akvarierne, hvor Forpupningen er lykkedes; fra disse Pupper fremkom senere den vingeløse Form, i høj Grad lignende Phryganepupper; de svømmede rundt i Akvarierne. Dyrets Biologi er desværre endnu ikke tilstrækkelig kendt.

### Coleoptera.

*Hæmonia equiseti* F. En af 4—7 m Bæltets mærkeligste Skabninger er Donaciinen *Hæmonia equiseti*. Medens alle de øvrige Donacier som fuldtudviklede Dyr er knyttede til forskellige Planter over Vand (*Nymphaeaceer*, *Typha*, o. a.), er *Hæmonia* hele sit Liv et Vanddyr, der, saa vidt vides, i hvert Fald ikke paa den Lokalitet, hvorom her Talen er, nogensinde kommer op til Vandspejlet. Ofte har jeg haft disse smukke, men yderst træge Dyr kravlende om paa Vandplanterne i mine Akvarier. Selv Parringen foregaar i Vand. Undervinger findes, men er svagt udviklede. Maaske gives de Lokalteter, hvor de nu og da kan blive brugt.

Dens hvide Larve, mindre end de andre Donacinlarver, sidder ofte i uhyre Mængder fast paa *Myriophyllum* og andre Vandplanters Rodder; et Rodfilter, optaget med Riven, kan ofte indeholde Larver i Hundredevis. Kokonerne findes rækkevis paa Rodderne, samt løse i Bunden under Planterne. Dens meget mærkelige Respirationsforhold er nærmere udredet af BROCHER.

*Amalus leucogaster* Marsh. Paa de drivende Øer af *Myriophyllum* træffes meget ofte et større eller mindre Antal af Skudspidserne afbidt, som oftest skraat. Bidfladerne er sorte. Tages Planterne hjem, findes hyppig Synderen, en lille Snudebille, der dels kryber om paa Planten, dels paa en højest besynderlig kravende Maade langsomt svømmer gennem Vandet; mest staar den dog stille midt i Vandlagene, idet den ustandselig bevæger Benene. Disse er maaske nok ret lange for en Snudebille at være, men de har ingen Svømmehaar. Larven lever paa *Myriophyllum*, det er et Forsommerdyr, som desværre har undgaaet min Opmærksomhed. BROCHER (1913 p. 233), der ikke selv har set den, angiver, at den skal leve minerende.

Puppen derimod, som næppe hidtil er iagttaget, er overordentligt almindelig i Juni paa de afbidte *Myriophyllum*-Spidser. Den hviler i en sortebrun Kokon, der er klæbet til Spidsen. Den sidder vistnok altid ganske nær Vandspejlet. Jeg har ikke hidtil kunnet se Huller paa Planten, der hvor Kokonen er fæstet til denne. I Analogi med Forholdene hos Donaciernerne kunde jo dette have været ventet.

For Sommerhalvaarets Vedkommende kan det vist ikke forsvares at regne denne Form, der vel lever ude over 3—4 m Vand, men dog altid paa Skudspidserne lige i Overfladen, med til Faunaen paa 4—7 m. Naar den medtages her, er det, fordi der er en Mulighed for, at Billen overvintrer paa dybere Vand. Dyret synes ganske uafhængig af atmosfærisk Luft. I 4 Uger har jeg om Sommeren haft den gaende i Akvarier, hvor Adgangen til atmosfærisk Luft var spærret. Da jeg har formodet, at imago dog snarest overvintrede paa Land, har jeg søgt den i de opskyllede *Myriophyllum*-Dynger, men ikke fundet den. Hvorledes Overvintringen iøvrigt foregaar, er ikke klart. Man maa erindre, at *Myriophyllum* paa mangfoldige Steder, hvor Dyret er almindeligt, raadner helt bort med Undtagelse af Hvileknopperne. Man maa derfor antage, at det ikke er som minerende Larve men som fuldtudviklet Insekt, at Dyret overvintrer.

*Platambus maculatus* L. Ved Bredden af vore større Søer under Sten, men mest under nedfaldende Træers Bark, finder man særlig i Vinterhalvaaret den mærkelig spragledede Agab: *Platambus maculatus*. Som imago er den yderst almindelig. Som Larve er den eneste, der har set den, vistnok SCHJØDTE. Senere er den forgæves søgt af mange Entomologer. Ude over de undersoiske Enge i Store Kalven findes i Forsommeren en *Agabus*-Larve, der meget vel passer med SCHJØDTEs Afbildning; kun er den lysere end denne og lysere end nogen anden Vandkalvelarve, jeg har set.

Da vi ikke i Furesø synes at have andre Agaber end *Platambus*, og da dennes Larve aldrig ses ved Bredden, hvor imago forekomme, i Mængde, er den Tanke meget nærliggende, at 4 m Vegetationen er Larvens Hjemstavn. Heri bestyrkes jeg ogsaa af følgende. I de sidste Dage af December 1916 toges *Elodea* fra 4—5 m. Efter at Planterne havde henstaaet til Midten af Januar og var hensat i Lyset, kom smaa *Agabus*-Larver frem. De leve i Marts 1917 i Akvarierne af Ostracoder; en skiftede Hud i April, men naaede ikke at forpuppe sig.

*Hydroporus*. Der findes ude over Plantetæpperne paa 4—7 m en Del Hydroporer, som desværre ikke er blevet nærmere bestemt. Meget karakteristiske er deres Larver, som i Forsommeren er almindelige nok. De lever nærmest et rodende Liv, ganske nær Bunden. De er yderst livlige; med deres snudeformede Hovedskjold ses de i Akvarierne rode rundt i Bundens øverste Lag.

*Halipilus.* Ogsaa af denne Slægt findes paa 4—7 m et Par Arter. Langt hyppigere end imagines er Larverne, hvis lange, pindlignende Legemer besatte med lange Torne er vel kendte. De er ganske overordentlig træge Dyr. I Akvarierne bevæger de sig næsten ikke. Som Larver kan de for Øjeblikket næppe bestemmes. Maanedsvist kan de ligge paa Bunden af Akvarierne og synes aldrig at komme til Overfladen for at hente Luft.

*Orectochilus.* Hvirvlerlarver er i Alm. ikke sjældne i Vinterhalvaaret hverken i Moser eller ved Bredden af vore større Søer, bl. a. Furesø. De fleste af disse Larver hører dog til Slægten *Gyrinus*. Til *Orectochilus*-Larven, der er beskrevet af SCHJØDTE, ser man derimod næsten aldrig noget.

En Septemberdag, da jeg laa i Baaden ude paa 5—6 m Vand i Randen af *P. lucens*-Bæltet, blev jeg opmærksom paa flere 2—3 cm lange Larver, kridhvide af Farve. Deres Trachegæller og Legemsform viste straks, at det var Gyrinlarver, en nærmere Undersøgelse, at det var Larver til *Orectochilus*.

Disse overordentlig smukke Larver var i Akvarierne ypperlige Svømmere, der bevægede sig paa Iglernes Vis ved at bugte Legemet bølgeformet op og ned. Larverne af Slægten *Gyrinus*, som jeg ofte har haft i mine Akvarier, svømmer i Alm. kun lidt. Larven til *Orectochilus* er bredere og fladere. Dette og den lyse Farve bør vistnok betragtes som Karakterer, der er i Overensstemmelse med de Kaar, hvorunder Larven lever, meget forskellige fra dem, hvorunder de mørkfarvede, krybende *Gyrinus*-Larver træffes. *Gyrinus*-Larverne forpupper sig som bekendt i Kokoner over Vand. Det er aldrig lykkedes mig at finde *Orectochilus*-Kokonerne, der hidtil er ukendte.

## Diptera.

Paa Vegetationen paa 4—7 m findes en uhyre Mængde Myggelarver, næsten alle tilhørende Chironomidernes Familie. Disse Chironomidelarver spiller vistnok Hovedrollen paa disse Lokalteter. Det Antal Individer, man kan ryste ud af en enkelt *P. lucens*, eller af en *Chara*-Masse er ganske utroligt. De maa utvivlsomt henføres til adskillige eller muligvis mange Slægter og Arter. Studiet af dem hører til det allervanskeligste; da disse Undersøgelser begyndte, var det umuligt at bestemme dem. Senere har THINEMANN og hans Elever udrettet et stort Arbejde. At udrede blot en enkelt Sas Arter bliver en Specialundersøgelsses Sag, som ikke lader sig gennemføre uden omhyggelige Klækninger i Akvarier. Vi maa indskrænke os til at fremhæve den uhyre Masse Chironomidelarver, der bebor Vegetationen og lever paa den.

Det kan fremhæves, at man aldrig paa disse Lokalteter ser noget til Culicide-Larver.

## Aranea.

### Hydrachnider.

Paa 4—7 m ude over *Tolypellopsis*-Skovene, mest maaske over Store Kalvens undersøiske Enge træffer man talrige Arter af Hydrachnider. Individantallet kan vel i og for sig ikke siges at være stort. De fleste af dem findes kun i ret ringe Mængde i

Proverne, mange kun i enkelte af dem. De hyppigst forekommende Former er *Diplodontus descipiens*, *Limnesia undulata*, *Atax crassipes*, *Hydrochoreutes unguilatus*, *Brachypoda versicolor* og *Midea orbiculata*. Navnlig de to sidstnævnte Arter, let kendelige paa deres prægtige blaa Farve, er aabenbart yderst almindelige. I Skaalene kan de næsten danne Plankton og i Hundredevis tumle sig langs Lysranden. De fundne Arter er følgende. Listen bør næppe betragtes som fuldstændig. Hydrachniderne er bestemte dels af Dr. SIG. THOR, Drammen, dels af Mag. PEDERSEN; jeg bringer begge de Herrer min bedste Tak.

|   |   |
|---|---|
| <i>Hydrachna Schneideri</i> Koenike         | <i>Curvipes variabilis</i> C. L. Koch           |
| — <i>globosa</i> De Geer                    | <i>Acercus liliaceus</i> O. F. Müller           |
| — <i>geographica</i> O. F. Müller           | <i>Brachypoda versicolor</i> O. F. Müller       |
| <i>Diplodontus descipiens</i> O. F. Müller  | <i>Midea orbiculata</i> O. F. Müller            |
| <i>Frontipoda musculus</i> O. F. Müller     | <i>Aturus scaber</i> Kramer                     |
| <i>Limnesia Koeniki</i> Piersig             | <i>Arrhenurus securiformis</i> Piersig          |
| — <i>maculata</i> O. F. Müller              | — <i>globator</i> O. F. Müller                  |
| — <i>undulata</i> O. F. Müller              | — <i>bicuspidator</i> Berlese                   |
| <i>Hygrobates longipalpis</i> Hermann       | <i>Piona coccinea</i> Koch                      |
| <i>Megapus ovalis</i> Koenike               | — <i>bruzeli</i> Sig. Thor                      |
| <i>Atax crassipes</i> O. F. Müller          | — <i>rotundoides</i> Sig. Thor                  |
| <i>Cochleophorus vernalis</i> O. F. Müller  | — <i>rufa</i> Koch                              |
| <i>Hydrochoreutes unguilatus</i> C. L. Koch | <i>Neumania vernalis</i> O. F. Müller           |
| — <i>Krameri</i> Piersig                    | — <i>spinipes</i> O. F. Müller                  |
| <i>Curvipes longipalpis</i> Krendowsky      | <i>Lebertia (Pilelebertia) porosa</i> Sig. Thor |
| — <i>rotundus</i> Kramer                    | — — <i>insignis</i> Neuman                      |

Om denne Middefauna skal endnu følgende meddeles.

De store Søer synes at have enkelte Midder, der mere synes hjemmehørende her end i Smaasøer og Damme. De mangler iøvrigt ikke paa sidstnævnte Lokalteter, men de findes i langt større Antal i Søerne og herude under Forhold, hvorunder de øvrige Hydrachnider enten ganske mangler eller kun optræder enkeltvis. Det drejer sig her om de Midder (*Atax*-Arter), der ikke, saaledes som Tilfældet er med de fleste andre, i deres Ungdomsstadier snylter paa Insekter, men i Muslinger og Spongiller. Furesø huser flere af disse, i hvert Fald *Atax crassipes*. *Unio* og *Anodonta* i Furesø indeholder Middelstadiet i stor Mængde. De træffes til enhver Aarstid i dem; som udviklede Dyr dog maaske mest i Sommerhalvaaret. De venter endnu paa en nærmere Bearbejdelse.

Hvad *Atax crassipes* angaar, er Forholdene øjensynlig meget indviklede. For c. 25 Aar siden fandt jeg en Junidag i store *Spongilla*-Klumper fra en lille Sø nær Hillerød (Teglgaardso) en Masse Midder. De bestemtes den Gang til *Atax crassipes*; de fandtes i Svampene i alle Stadier fra Larver og lige til fuldtfærdige Nymfestadier. I Søens Plankton var *Atax crassipes* meget alm. Fundet var af Interesse, fordi man paa dette Tidspunkt intet vidste om, at *Atax*-Arter levede i Spongiller. I sin Monografi over *Atax* (1899 p. 193) nævner WOLCOTT næsten 10 Aar efter mit Fund heller

ikke noget herom. Derimod siger han, at han har samlet *A. crassipes* „parasitic as well as free“ i Michigan og tilføjer, at B. WALKER har taget Nymfer og voksne i *Anodonta* i Michigan. Endvidere er *Atax* paavist i *Sphærium*. Den omtales ogsaa som Muslingparasit af KELLY (1899 p. 399).

I sin Monografi over Hydrachniderne (1900) angiver PIERSIG, at *Atax crassipes* rimeligvis i Larvestadierne snylter hos Spongiller, men lever frit som udviklet Dyr. Han formoder udfra Iagttagelser i Akvarier, at Æglægningen foregaar et andet Sted. I 1906 meddeler SOAR (p. 365), at han sammen med SCOURFILLD i Spongiller fra Sutton Broad (England) har fundet *Atax crassipes* i stor Mængde. I Hydrachniderne i: Die Süßwasserfauna Deutschlands (1909 p. 96) angiver KOENIKE kort og godt om *A. crassipes*: „Imagines und Nymphen freilebend, die Larve bei *Spongilla* schmarotzend.“ Endelig i 1912 meddeler MICOLETZKY at han i Niedertrumsee i Salzburg i *Spongilla lacustris* fandt *Atax crassipes*; den paavistes her ikke alene i unge Stadier, men ogsaa som fuldt udviklede Hanner og Hunner.

Det synes af Litteraturen at fremgaa, at *Atax crassipes* saavel snylter hos Muslinger som i Spongiller. En nærmere Undersøgelse paa dette Omraade turde vistnok være ønskelig. Udelukket er det næppe, at vi her har med forskellige Arter at gøre. KOENIKE angiver, at ogsaa *A. figuralis* C. L. Koch rimeligvis snylter hos Spongiller.

I Furesø er *Atax crassipes* overordentlig alm. og findes vistnok i alle Maanederne i Planktonet; den mangler i hvert Fald ikke i April og findes endnu i Januar. Den optræder udpræget pelagisk, forekommer midt i Søen og er taget med Lukkenet i de dybere Vandlag. Forekomsten herude er mærkelig, da der aldrig er taget Spongiller udenfor Litoralregionen. Disse findes som ovenfor nævnt kun i ringe Mængde ude paa Store Kalvens Vegetation, men derimod i store Mængder i *Scirpus-Phragmites*-regionen. Spongiller herfra er ofte blevet undersøgt, men jeg har aldrig fundet *Atax* i dem. Til forskellige Tider har jeg haft Spongiller og *Atax* sammen i Akvarier, men det varede længe, inden det lykkedes mig at faa Spongillerne inficerede. I Jan. 1917 anbragte jeg i et Akvarium Spongiller, hvis Bløddele næsten alle var trukket sammen i Gemmulæ, endvidere Vandplanter og 25 *Atax crassipes* samt som Føde *Cyclops strenuus*. Lige til Slutningen af Mai fandt ingen Æglægning Sted. Da viste sig Grupper af smaa, hvide Æg paa talrige Steder paa Spongillernes Overflade. I Juni, Juli kom Middelarverne frem i Mængde. Paa det Tidspunkt, da dette trykkes, er Larverne endnu paa 1ste Stadium. Infektion af Spongiller er altsaa lykkedes.

## Mollusca.

Der henvises til Mag. Steenbergs Afsnit.

|  |   |
|--|---|
| <i>Limnæa stagnalis</i> L.               | <i>Planorbis albus</i> O. F. Müll.                              |
| — <i>auricularia</i> L.                  | <i>Valvata piscinalis</i> O. F. Müll. var. <i>antiqua</i> Sowb. |
| — <i>ovata</i> Drap.                     | <i>Bythinia tentaculata</i> L.                                  |
| — <i>palustris</i> O. F. Müll.           | <i>Neritina fluviatilis</i> L.                                  |
| <i>Amphipeplea glutinosa</i> O. F. Müll. | <i>Unio tumidus</i> Retz.                                       |



|  |  |
|--|--|
| <i>Unio pictorum</i> L.                | <i>Pisidium pusillum</i> Jen.            |
| <i>Anodonta cygnea</i> L.              | — <i>nitidum</i> Jen.                    |
| <i>Sphaerium corneum</i> L.            | — <i>subtruncatum</i> Malm.              |
| ( <i>Pisidium amnicum</i> O. F. Müll.) | — <i>parvulum</i> (Cless) B. B. Woodward |
| — <i>casertanum</i> Poli               | <i>Dreissensia polymorpha</i> Pallas     |
| — <i>henslowianum</i> Shepp.           |  |

### Sammenfattende Bemærkninger.

Sammenligner vi nu denne Fauna, som i sine Hovedtræk for Furesøens Vedkommende nu maa siges at være kendt, med de forskellige andre af Ferskvandets Dyresamfund og særlig med Faunaen ude over Smaasøernes, Dammenes og Mosernes submerse Vegetation, ser vi, at den i Virkeligheden er noget ganske for sig. Vi støder paa en lang Række Former, der karakteriserer dette Samfund, hvis egentlige Hjemstavn er de større Søers svagt hældende, submerse, vegetationsklædte Skraaninger. Blandt disse Former maa formentlig særlig følgende fremhæves.

|   |  |
|---|--|
| <i>Spongilla fragilis</i> Leidy             | <i>Cyrrus flavidus</i> Mc. Lach                                  |
| Mulig en Del Turbellarier                   | <i>Acentropus niveus</i> Oliv.                                   |
| <i>Piscicola geometra</i> L.                | <i>Hæmonia equiseti</i> F.                                       |
| <i>Ceriodaphnia pulchella</i> G. O. Sars    | <i>Platambus maculatus</i> L. Larve                              |
| <i>Chydorus globosus</i> Baird.             | <i>Oreochilus</i> Larver   |
| <i>Pallasiella quadrispinosa</i> G. O. Sars | Visse Chironomider   |
| <i>Caenis</i> -Larver                       | <i>Midea orbiculata</i> O. F. Müller                             |
| <i>Agrion lunulatum</i> Charp.              | <i>Brachypoda versicolor</i> O. F. Müller                        |
| — <i>hastulatum</i> Charp.                  | <i>Valvata piscinalis</i> O. F. Müller var. <i>antiqua</i> Sowb. |
| <i>Hydroptila</i> -Arter                    | <i>Planorbis albus</i> O. F. Müller var. (pag. 89)               |
| <i>Oxyethira costalis</i> Curt.             |  |

Mange af de herhenhørende Former er ofte betragtede enten som sjældne eller i hvert Fald som Dyr, man kun ser enkeltvis. Netop den massevis Forekomst viser, at her er Arternes egentlige Hjem. Dette gælder saaledes *Piscicola geometra*, *Chydorus globosus*, *Pallasiella quadrispinosa*, *Caenis*-Larver, *Agrion lunulatum* og *hastulatum*, *Hydroptilidelarverne*, *Cyrrus*-, *Acentropus*-, *Hæmonia*- og *Oreochilus*-Larverne, *Valvata piscinalis* var. *antiqua*. Naar *Platambus*-Larven kun er fundet enkeltvis, skyldes det formentlig, at Foraarsprøverne mangler.

I Undersøgelserne over Brændingskystens Fauna blev der paaavist en Del Karakterer, der enten var fælles for dens enkelte Arter, eller hyppig kom igen, endvidere Bygningsforhold, der alle synes at tendere henimod samme Maal: at gøre Dyrene i Stand til at leve under de urolige Kaar, Brændingskysten bød sine Beboere. Vi kan for denne Fauna, det her drejer sig om, paaavise ganske lignende Træk.

Mest iøjnefaldende er Farven, der meget ofte er grøn. Den grønne Farve møder os hos alle Ephemeridelarverne, hos Guldsmedelarverne, hos næsten alle Vaar-



fluelarverne, selv Husene er ofte grønne (*Oxyethira*) hos Chironomidelarverne, hos *Pallasiella*, hos *Piscicola geometra*. Meget karakteristisk er det, at vi ofte har Tværstribning med hvidt i det grønne. Mest fremtrædende er det hos *Piscicola geometra* og hos *Pallasiella*; men samme Tegning kommer igen hos *Cloëon*-Larver, hos *Zygopteride*-Larver.

At denne Farvetegning bevirker, at Dyrene falder sammen med Omgivelserne er utvivlsomt; i et Akvarium med mange *Pallasiella* er det næppe muligt at opdage dem. De sidder højt over Bunden, oppe mellem Vegetationen, støttet med et Par af Fødderne til de grønne Plantedele. Noget ganske lignende gælder *Piscicola geometra*.

Naar vi betænker, i hvilken Grad brune Farver er fremherskende for Bred-dyrenes Vedkommende, og at de næsten ganske mangler hos de submerse Plante-bælters Sofauna, tør vi vistnok formode, at vi her har med Beskyttelsesfarver at gøre. Kun de Former, der lever nede i Muddret under Planterne, Ostracoder, *Gammarus pulex*, *Caenis*-Larver, *Sialis*-Larver har mørkere Farver (graa, brune) eller helt hvide.

Ganske karakteristisk er det, at vi her ude paa 4—7 m har to Arter af Amfipoder, den ene levende over den anden: *Gammarus pulex* nede i Bunden med Bundens Farve og *Pallasiella* oppe mellem Vegetationen med dennes Farve.

Endvidere kan der gøres opmærksom paa, at Faunaen herude gennemgaaende sammensættes af bløde, ret svage Dyr uden stærkt Hudskelet. Bygger Dyrene Huse, er de kun lidet modstandsdygtige mod ydre Vold. Under de rolige, stabile Forhold er kraftig Legemsbeskyttelse ikke nødvendig.

De fuldkomne ensartede Kaar Sommer og Vinter bevirker, at Faunaen ikke behøver at ty til særlige Overvintringsorganer. De skiftende Kaar til de forskellige Aarstider ændres ikke i den Grad, at de bliver saa faretruende for Organismen, at den maa ty til særlige Midler for at klare sig over Tilværelsens døde Punkter. Ligesom hos Planterne er hos Dyrene en Trang til ikke at tage Overvintringsmidler (Hvileæg, Hvileknopper) i Brug. Jeg har aldrig paa *Hydra* kunnet finde Hvileæg. Spongillerne indeholdt endnu i December ingen Gemmulæ. Ephippialdannelser er ikke paavist hos *Simocephalus vetulus*. Plantevæksten frembyder ganske lignende Forhold; ogsaa den danner i hvert Fald i alt væsentligt ikke Hvileknopper.

Medens man i Kystfaunaen og især i Brændingsfaunaen træffer mange træge, langsomme, tungt bevægelige eller tungt belastede Dyr, er det, der netop udmærker denne Fauna, dens store Bevægelighed.

*Piscicola geometra* er vist en af de mest bevægelige, hurtigst svømmende Igler. *Pallasiella quadrispinosa* er langt bedre Svømmer end *Gammarus*, endvidere er *Orectochilus*-Larverne i Sammenligning med *Gyrinus*-Larverne, der næsten aldrig svømmer frivilligt, udmærkede Svømmere. Ganske det samme er Tilfældet med *Cloëon*- og *Zygopteride*-Larverne.

Naar man fra Baaden en Solskinsdag ser ned paa det myldrende Liv af mange forskellige Skabninger, der rører sig over Algetæpperne, ser man dem i smaa hurtige Tag skyde hen over disse; saa sætter de sig, farvebeskyttede som de i Alm. er, til Ro mellem Grenvinklerne for saa igen at tage et Trip ud over det Grønne. Den,

hvis Øje ikke er skærpet, kan aldeles ikke opdage alle disse Dyr; det er kun under Øvelsen, at man kan iagttage dem ude, hvor de hører hjemme.

Vandet, hvori denne Fauna lever, er rent og klart; den kraftige Vegetation sørger for rigelig Ilt. Temperaturen naar ikke altfor højt. For alle Dyr, der til deres Respiration kan tage Ilten fra Vandet, er Respirationsforholdene gode. For dem derimod, der skal bruge den atmosfæriske Luft, er de paa Grund af den overliggende Vandsojles Højde i alle Maader ugunstig. Næsten alle de til Samfundet hørende Former har Hudrespiration: enten diffus (*Cyrrus*, *Acentropus*) eller knyttet til særlige Hudpartier: Gæller, Tracheegæller (Ephemerider, Odonater, *Orectochilus*-Larver). Lunge-sneglene anvender deres Lungehule som Vandlunge. Meget karakteristisk er det at se, at de *Cloëon*-Larver, der findes herude, har færre og mindre Tracheegælleblade end de, der lever inde i mindre Damme. De tilhører hver sin Art: i Dammene fortrinsvis *Cloëon dipterum*, i klare Søer og rindende Vand *Pseudocloëon bifidum*. I det iltrige Vand reduceres de respirerende Flader. Dyr, der skal bruge atmosfærisk Luft, kan herude ikke hente den i Overfladen. De store Vandkalve, Vandkærer, Vandtæger, *Argyroneta* mangler i hvert Fald om Sommeren alle i Samfundet. Skal atmosfærisk Luft anvendes, maa den i saa Fald skaffes paa særlig Vis.

Iltforbruget dækkes da af Planterne. Som Larver tager *Hæmonia* Luften fra Vandplanternes Rødder og Rhizomer. Som Imago har BROCHER vist, at den med Følehornene opsamler Luftblærer og stryger dem ud over Legemet, hvor de paa Grund af Kitinens særlige Struktur bliver hængende. Gennem Spiraklerne trækkes denne Luft ind i Legemet. Hvorledes *Platambus* Larven bærer sig ad, vides ikke, men sikkert er det, at nærstaende *Agabus*-Larver kan leve maanedsvi under Vand ved lav Tp. Der staar da altid i Bagenden, ragende ud af Spiraklerne, en stor Luftblære, der trækkes ud og ind, og som vistnok ved at komme i Berøring med stærkt iltrigt Vand bliver respirabel igen. —

### Den sublitorale Region.

(7½-8 til 20 m).

Den sublitorale Region, der begynder, hvor den sluttende Vegetation hører op, indbefatter altsaa Skalafløjringerne og Brunjærnstensaflejringerne. Faunistisk set frembyder den en af Søens største Betydeligheder. En nærmere Undersøgelse viser nemlig, at den aldeles overvejende Del af Litoralfaunaen standser aldeles brat ved Vegetationens Ydergrænser og gaar ikke ud i den sublitorale Region, der, idet nye Arter ikke kommer til, bliver overordentlig død.

Dyrelivet repræsenteres ganske fortrinsvis af *Unio* og *Anodonta*, *Valvata piscinalis*, *Bithynia tentaculata* og *Dreissensia polymorpha* samt Pisidierne. Ud i den gaar endvidere mærkværdig faa Tubificider, *Piscicola geometra*, *Pallasiella quadrispinosa*, *Eurycerus lamellatus*, maaske enkelte andre Lynceider, et Par Ostracoder, *Sialis*-Larven, Larverne til *Molanna* og en enkelt *Limnophilus*. Man træffer i hvert Fald ude paa 8—10 m Rør, der meget ligner dem, i hvilke man inde paa c. 5 m finder *L. flavicornis*. Af Ephemerider maaske *Caenis*. Ligesom Artsantallet er ringe, saaledes ogsaa Individantallet. Udadtil gaar Zonen jævnt over i de vegetationsløse Gytjeflader. Er disse

end fattige paa Arter, er de rige paa Individer; man mærker allerede dette i den yderste Del af Skallflejringerne Zone, hvor Gytjefladerne Arter begynder at vise sig.

Vi vil foreløbig nøjes med Paavisninger af dette mærkelige Forhold og, inden vi nærmere gaar ind paa det, omtale Dyrelivet i den profunde Region.

### Den profunde Region.

#### Furesøens vegetationsløse Gytjeflader.

Idet vi ser bort fra Protozoerne, bestaar Faunaen paa Furesøens dybeste Partier af følgende Arter.

#### Vermes.

##### Turbellarier.

*Plagiostoma Lemani* (Pless.)

##### Nematoda.

Ganske enkelte Arter, der hidtil ikke er bestemt.

##### Oligochæta.

*Tubifex barbatus* Grube  
— *hammoniensis* Michaelsen

De to Arter er til Stede i betydeligt Individantal; i Bundprøver, der henstaar i Akvarier, danner de deres kraterformede Ekskrementhobe og gennemtrækker Dyndet med talrige, hverandre krydsende Gange.

#### Arthropoda.

##### Crustacea.

##### Copepoda.

*Canthocamptus crassus* G. O. Sars  
*Cyclops albidus* Jurine  
— *fimbriatus* Fischer  
— *viridis* Jurine

Ved Undersøgelsen af Gytjefladerne ude paa de større Sodybder havde jeg ventet at finde de i Literaturen i den senere Tid ofte nævnte mærkelige Cyster, hvori disse *Cyclops*- og *Canthocamptus*-Arter særlig i Sommertiden i store Soer indkapsler sig. De skal i de Soer, hvor de findes, kunne optræde i store Mængder: *Cyclops bicuspidatus* (JUDAY 1908 p. 1): *Canthocamptus microstaphylinus* (LAUTERBORN og WULF 1909 p. 130).

Det er aldrig lykkedes mig at finde disse Cyster; jeg har endvidere ladet Dynd staa i Akvarier i 4—5 Maaneder, men har, naar dette henstod med Brøndvand, aldrig i Tidens Løb set Copepoder komme frem af Dyndet. Ikke heller har jeg kunnet faa *Canthocamptus*- og *Cyclops*-Arter til at forsvinde i Akvariernes Dynd, naar Temperaturen steg i Vandmassen. LAUTERBORN og WOLF har været tilbøjelig til at tro, at Cysterne er et Beskyttelsesmiddel mod for stærk Varme og i den Anledning i Dyrene villet se Istidsrelikter. Da vi, som det fremgaar af det følgende, nu ved, at der om Sommeren hersker Iltmangel paa Bunden af middelstore Søer, er det da ikke rimeligere at antage, at disse Cyster er Værn mod slette Respirationsforhold?

#### Ostracoda.

|   |  |
|---|--|
| <i>Cypria lacustris</i> G. O. Sars      | <i>Limnocythere inopinata</i> Baird.   |
| <i>Candona candida</i> O. F. Müller     | — <i>relicta</i> Lilljb.               |
| <i>Darwinula Stevensoni</i> Br. u. Rob. | <i>Cytheridea lacustris</i> G. O. Sars |

Hovedformen turde maaske *Darwinula Stevensoni* være. Paa visse Lokalteter, særlig omkring de to store Banker midt i Søen, vil Bundprøver behandlede med fine Sigter vise sig at indeholde uhyre Masser af Ostrakod-Skaller.

#### Amphipoda.

##### *Pontoporeia affinis* Bruzelius

Det er ganske interessant at se, hvor skarpt begrænset den stengraa *Gammarus pulex* er indskrænket til Litoralregionens inderste Del, den grønstribe *Pallasiella quadrispinosa* fortrinsvis til den submerse Vegetation og den snehvide *Pontoporeia affinis* til Dybet udenfor Skalbæltet. Den zonare Fordeling er stærkest udpræget om Sommeren. *Pontoporeia* er jo som omtalt tidligere en udpræget Glaciereликт, hidtil her i Landet kun kendt fra Furesøens større Dybder. De mere gennemførte Undersøgelser i 1911—1916 viste, at Dyret i November—December fra de dybere Vandlag søger nærmere ind imod Land.

Den findes da i Mængde sammen med *Pallasiella quadrispinosa* i Skalbæltet. Denne Vandring fra Dybet om Vinteren op imod Litoralregionen er allerede omtalt af SAMTER og WELTNER for Madüssee's Vedkommende; derimod har jeg aldrig truffet den oppe i 1 m Vandlaget, saaledes som disse Forff. I Vinterprøverne fra Store Kalven er den aldrig blevet paavist.

#### Mysidacea.

##### *Mysis relicta* Lovén

Siden SAMTER og WELTNER fandt *Mysis relicta* i nordtyske Søer, og jeg paaviste den i Furesø, har Dyret været Genstand for adskillige glacial-theoretiske Studier. Disse skal forbigaa her; derimod skal Hovedpunkterne i Dyrets Biologi kort fremdrages. Disse blev udredede af SAMTER og WELTNER (1904 p. 676); i 1916 har jeg gaaet Forholdene efter i Furesø og kan nu vise, at *Mysis relicta* i Furesø og i Madüssee i biologisk Henseende forholder sig fuldkommen ens.

Furesø er den eneste danske Sø, hvori *Mysis relicta* hidtil er paavist. Forekomsten her hænger vistnok sammen med, at Søen er vort Lands dybeste Sø og en af dem, der ved Bunden raader over de laveste Sommertemperaturer. Jeg havde ventet, at Dyret ogsaa skulde kunne paavises i Haldsø, men har her forgæves skrabet efter den. Naar SAMTER og WELTNER sætter den øvre Temperaturgrænse til c.  $+14^{\circ}$ , er dette vist ganske rigtigt.

I Furesø som i Madüse lever *Mysis* i den varme Aarstid udelukkende ude over de vegetationsløse Gytjeflader, saavidt vides, paa de største Dybder. Hvorvidt den om Natten skulde stige op til Overfladen, har baade S. & W. og jeg glemt at se efter. I November begynder Indvandringen til lavere Vand; den er da ret almindelig i Sublitoralregionen; i Dec.—Jan. trækker den i Sværme hen over Vegetationsletterne i Store Kalven. I Mai er den forsvundet herfra og findes nu atter kun paa Dybet.

Hele Sommeren igennem har jeg aldrig i Furesø set *Mysis relicta* med Æg; jeg har troet, at alle disse Dyr var unge Dyr, der endnu ikke havde opnaaet Kønsmodenhed. Dyr med Ægsække viser sig først i Store Kalven efter 15. Decbr. ved  $T_p$  c.  $6-0^{\circ}C$ . SAMTER og WELTNER har vistnok Ret i, at de Individuer, der Sommeren igennem træffes ude paa dybt Vand, i og for sig er kønsmodne, men at de venter med Ægproduktionen, til Efteraarets Temperaturer under  $7^{\circ}C$ . indtræffer. SAMTER og WELTNER angiver, at man i Dratzigsee endnu hele Efteraaret igennem træffer den gamle Generation, som ikke følger den unge nye Generation paa dens Opvandring mod lavere Vand. Den forbliver hele Aaret nede paa Dybet og opnaar her endnu en Gang Kønsmodenhed; den anden Sexualperiode indtræffer 3 Maaneder efter første; i Madüsee mangler denne anden Sexualperiode. Furesø synes at forholde sig som Madüsee. Jeg har i Vintermaanederne vel taget enkelte Exemplarer op fra 30—35 m, men har aldrig set Hunner med Ægsæk.

Man faar i det hele ikke Indtrykket af, at *Mysis relicta* forekommer i større Mængde i Søen. Det gaar maaske med den, som det i det sidst 20 Aar synes at gaa med den ligeledes indelukkede lille Smelttrase, der snart synes at gaa sin Undergang i Møde. For c. en Menneskealder siden skulde Vandet efter gamle Fiskeres Udsagn formelig koge, naar Sværmene om Efteraaret fra Bunden hævdede sig op til Overfladen. Selv har jeg for c. 20 Aar siden set lidt af disse Flokke og glædet mig over Maagerne, der i de Dage Smelten var oppe, som hvide Skyer stod over Sværmene. Efter Storme kastede Fisken særlig i Vinterhalvaaret op paa Land. Julestormen 1902 dækkede Bredden med Tusinder af Smelt og Aborner. Mig bekendt har i de senere Aar ingen mere set noget til Smelten; og efter Stormene i de sidste Aar har jeg forgæves søgt den i Opskylsdyngerne.

#### Hydracarina<sup>1)</sup>.

*Piona conglobata* C. L. Koch

*Forelia tiliacea* O. F. Müller

*Brachypoda versicolor* O. F. Müller

<sup>1)</sup> bestemt af Dr. Sig. Thor.



Jeg har Indtrykket af, at der ude selv over de største Sødyb i Furesø maa kunne paavises flere Hydrachnider end ovennævnte. Det er under mine Planktonstudier hændet mig mere end en Gang, at jeg i Søens pelagiske Region og mærkelig nok i horizontale Lukketprøver fra 20—30 m har faaet snart en, snart en anden Hydrachnide i betydeligt Antal. Jeg har formodet, at jeg i dette som i andre Tilfælde har haft med forslaaet Materiale at gøre, Dyr, der af Bølger og Storme er ført ud fra deres oprindelige Hjemstavn.

#### Insecta.

*Chironomus* sp.

*Tanypus* sp.

Paa Furesøens vegetationsløse Gytjeflader findes ingen andre Insektlarver end Myggelarver. De henføres her foreløbig kun til disse to Hovedslægter. Det er meget sandsynligt, at det drejer sig om flere Arter. For faa Aar siden var det som ovenfor nævnt ganske umuligt at bestemme dem nærmere, og det maa blive en Specialundersøgelses Sag at skaffe os Kendskab til vore Dybvands-Chironomider. De store røde Chironomus-Larver udstyrede med Blodgæller (Tendipes Gruppen) er vistnok de hyppigst forekommende Dyr udenfor den sublitorale Region; de findes ogsaa saavel i denne som i Litoralregionen; om det overalt er samme Arter, vides ikke. Antallet synes dog ikke saa stort som i Søer med kulsort Bund (Hald-Sø, Esrom-Sø), hvorfra Skraberne bringer dem op i Haandfuldevis. I Akvarierne danner de deres kraterformede Ekskrementhobe, fra hvis Top en Gang fører ned i Dyndet. Disse Gange har altid brede gule Sider, der tegner sig skarpt af mod den øvrige graa eller sorte Dyndmasse. De spiller vistnok og særlig i Vinterhalvaaret en meget stor Rolle som Føde for Karpfiskene, men derom vides endnu intet sikkert. I Sommerhalvaaret finder Forpupningen Sted; Pupperne stiger lodret til Vejrs, forvandler sig i Overfladen, og der dannes da uhyre Chironomidesvarme over Søen. Derfor er Antallet af Larver om Sommeren meget mindre end om Vinteren. Æglægningen finder Sted ude over Søen. Allerede inden Vinterens Komme har Larverne vistnok omtrent naaet deres Normalstørrelse. Saavidt foreløbig vides, mangler *Tanytarsus*-Gruppen ganske i Furesø. *Tanypus*-Larverne er efter Iagttagelser i Akvarierne at dømme ikke Rørboere. De kryber om paa Søbunden eller danner deres horizontale Gangsystemer i Muddrets øverste Overflade. De er vistnok Rovdyr, ikke Slamædere som Chironomus-Larverne.

#### Mollusca.

*Pisidium henslowanum* Shepp.

— *casertanum* Poli

— *subtruncatum* Malm

*Pisidium pusillum* Jen.

*Dreissensia polymorpha* Pallas.

*Dreissensia polymorpha* blev i 1915—1916 paavist som ganske smaa Eksemplarer udover hele Søbunden lige til 30 m. Der er ude paa disse Dybder næsten intet, hvorpaa den kan sidde. Den synes herude at ligge løst i Mudderet. Henstaar dette



i Skaal, finder man noget efter de smaa kun 2—3 mm lange Muslinger siddende paa Glassets Sider.

Man tør vistnok formode, at en stor Del af Materialet ude fra de større Dybder, som formentlig stammer fra nedsunkne Larver, vil gaa tabt. I Ratzburgersee (Maximaldyb 21 m) gaar den i Følge SCHERMER (1914 p. 595) kun enkeltvis ud til 8 m.

### Furesøens profunde Fauna sammenlignet med andre Søers.

Hvor overmaade fattig Furesøens Dybvandsfauna er, ser vi bedst, naar vi sammenligner Faunaen med Dybvandsfaunaen i større og dybere Søer, Nedenstaaende Tabel er udarbejdet efter ZHOKKE's Undersøgelser i Vierwaldstättersøen (1911), v. HOFSTEN's over Thuner og Brienzersøen (1911) og EKMAN's over Vättern (1911). FOREL's ældre Undersøgelser over Genfersøen kan ikke benyttes i denne Sammenhæng; hans Arter er nærmest at betragte som Kollektivarter; stiller man Genfersøens Fauna op ved Siden af de 4 andre Søers, faar man det sikkert ganske falske Indtryk, at denne Søs Fauna er relativt fattigere end den fattigste danske Sø.

|                                | Vierwaldstättersø | Furesø | Vättern | Brienz- & Thunersø |
|--------------------------------|-------------------|--------|---------|--------------------|
| <i>Rhizopoda</i> .....         | c. 40             | i. u.  | i. u.   | +                  |
| <i>Infusoria</i> .....         | 8                 | i. u.  | i. u.   |                    |
| <i>Hydra</i> .....             | +                 | 0      | +       | +                  |
| <i>Rhabdocoelida</i> .....     | 3                 | 1      | 3       | 12                 |
| <i>Triclada</i> .....          | 1                 | 0      | 3       | 1                  |
| <i>Nematoda</i> .....          | 4                 | i. u.  | 13      | 3                  |
| <i>Oligochæta</i> .....        | 14                | 2      | 12      | 6                  |
| <i>Hirudinea</i> .....         | 1                 | 0      | 1       | 2                  |
| <i>Bryozoa</i> .....           | 1                 | 0      | 2       | 1                  |
| <i>Copepoda</i> .....          | 3                 | 4      | 7       | 9                  |
| <i>Cladocera</i> .....         | 2                 | 0      | 5       | 5                  |
| <i>Ostracoda</i> .....         | 6                 | 6      | 7       | 11                 |
| <i>Amphipoda</i> .....         | 2                 | 1      | 4       | 0                  |
| <i>Isopoda</i> .....           | 1                 | 0      | 2       | 1                  |
| <i>Mysidacea</i> .....         | 0                 | 1      | 1       | 0                  |
| <i>Hydrachnida</i> .....       | 16                | 3      | 9       | 4                  |
| <i>Trichoptera</i> .....       | 4                 | 0      | 2       | 0                  |
| <i>Ephemera</i> .....          | 2                 | 0      | 0       | 0                  |
| <i>Perlidae</i> .....          | 1                 | 0      | 0       | 0                  |
| <i>Neuroptera</i> .....        | 1                 | 0      | 0       | 0                  |
| <i>Diptera</i> .....           | i. u.             | i. u.  | i. u.   | i. u.              |
| <i>Gastropoda</i> .....        |                   |        |         |                    |
| <i>Limnæa</i> .....            | 1                 | 0      | 2       | 0                  |
| <i>Valvata</i> .....           | 0                 | 0      | 3       | 3                  |
| <i>Lamellibranchiata</i> ..... |                   |        |         |                    |
| <i>Pisidium</i> .....          | 1                 | 4      | 5       | 7                  |
| <i>Dreissensia</i> .....       |                   | 1      |         |                    |

Der omtales eksempelvis kun 1 Dybvandscopepod, 2 Ostracoder, 4 Hydrachnider, 1 *Pisidium* o. v. s.

At Furesøens Dybvandsfauna i Sammenligning saavel med de alpine Søers som med Vätterns er overmaade fattig, er indlysende. Mest iøjnefaldende er Manglen af *Hydra*, af *rhabdocoela* Planarier, *Hirudineer*, *Bryozoeer*, *Triclada*, *Cladocerer*, alle Insekter, undtagen Myggelarver, alle Mollusker undtagen *Pisidium* og *Dreissensia*. Meget ejendommelige er ogsaa de faa Arter, hvormed de fleste af de Grupper optræder i Furesø, som er fælles for den, de alpine Søer og Vättern. Dette gælder særlig: Oligochæter, Amphipoder og Hydrachnider.

Man kunde nu tro, at denne Fattigdom skyldes, at Furesø var mindre godt undersøgt. Man maa imidlertid

her erindre, at Faunaen ude paa dybt Vand har været Genstand for special Undersøgelse af mange forskellige. A. DITLEVSEN har udersøgt Oligochæterne, BRINCKMANN Planarierne, S. JENSEN Ostracoder og Copepoder, STEENBERG Molluskerne. Selv har jeg været med paa de allerfleste Skrabeture; Materialet har staaet i Akvarier og Skaale, og det er ofte undersøgt af mere end en. Lad ogsaa en fremtidig Undersøgelse maaske paavise en enkelt Planarie, et Par Rotiferer, maaske enkelte Cladocerer eller et Par flere Hydrachnider. Det store almindelige Resultat, at Furesøens Bundfauna i Sammenligning med andre Søers er uendelig fattig, er sikkert nok. At der paa Furesøens dybeste Bund skulde kunne paavises Spongiller, Triclader, Hirudineer, Bryozoa, andre Insektlarver end Dipterer, Isopoder og andre Mollusker end *Pisidium* og *Dreissensia*, er ganske sikkert utænkeligt. Selv har jeg været saa heldig at have været paa Skrabetur saavel med Prof. FOREL i Genfersøen som med Prof. ZSCHOKKE paa Vierwaldstattersø. Den Rigdom paa Dyr, særlig hvad Artrigdom angaar, som Skraberen bringer op fra Schweizersøerne, har vore Søer ikke Magen til.

Studerer man ZSCHOKKE'S Hovedværk „Die Tiefenfauna der Seen Mitteleuropas“, viser det sig, at denne Vierwaldstattersøens Rigdom ingenlunde er enestaaende for alpine Søer: *Hydra*, Triclader, Bryozoa, Cladocerer, Insektlarver foruden Dipterlarver, mange flere Snegle hører normalt til de mellemeuropæiske Søers Dybvandsfauna. Endvidere, at visse Dyregrupper i disse er repræsenterede med et stort Artsantal: 31 Rhabdocoeler, 27 Oligochæter, 17 Ostracoder, 19 Cladocerer, 32 Hydrachnider o. s. v.

Man kunde nu tænke sig, at Furesøens dybeste Søbundsfauna var relativt fattig i Sammenligning med andre danske Søers. Dette er dog vistnok ikke Tilfældet. I Aarenes Løb har jeg skrabet over næsten alle vore dybere Søbunde, ofte har jeg haft Specialister med. Vi tør betragte det som ganske sikkert, at vore dybere Søbunde ikke huser Spongiller, *Hydra*, Hirudineer, Bryozoa, andre Insektlarver end Dipterer, Isopoder og ej heller Gasteropoder. Det er vel muligt, at visse Søer kan byde paa et Par andre Copepoder og Ostracoder, maaske et Par Dafnier og Rhabdocoeler og lidt flere Hydrachnider end Furesøen; men at Artsantallet skulde stige synderligt, er højst usandsynligt.

Jeg har det Indtryk, at Furesø, hvad dens Dybvandsfauna angaar, giver et ganske godt og korrekt Billede af, hvad vore Søer og dermed ogsaa de baltiske Søer med Maximaldybder paa 30—50 m i saa Henseende er i Stand til at præstere.

De baltiske Søbundes Artsfattigdom er da et Fænomen, som trænger til nærmere at belyses.

For at forstaa dette Fænomen vil det formentlig være det naturligste lidt nærmere at gaa ind paa EKMANN'S Studier af Vätterns Fauna (1915). Det er selvfølgelig uheldigt, at Furesø skal sammenlignes med en saa stor og dyb Sø, men derved er i Øjeblikket intet at gøre. Vättern og Furesø er de eneste Søer Nord for Alperne, hvis Bundfauna nu er nærmere udredet. I hvert Fald maa man med en vis Berettigelse kunne sammenligne Faunaen paa ca. 35 m i Vättern med Faunaen over Furesøens dybeste Partier. Kaarene her er vel ikke de samme som paa de skraanende Flader i en stor c. 120 m dyb Sø, men vi kan nu ikke i Øjeblikket skaffe bedre Materiale til Sammenligning.

EKMANN henfører Vätterns Bundfauna til tre Grupper: 1. Den litorale-sublitorale

Fauna. 2. Den sublitorale-profunde Fauna og 3. den eurybathe Fauna, der svarer til Schweizerforskeres Gruppe: de profunde eurytherme Ubiquister.

Den litorale-sublitorale Fauna inddeles igen i det rolige Vands og i Brændingskystens Fauna.

EKMAN's Gruppe 1 danner den væsentligste Del af, hvad jeg for Furesøens Vedkommende har kaldt Dyrelivet i den litorale og sublitorale Region. Den gaar i Vättern ud til ca. 40—50 m nogle Arter gaar endog dybere. At optrykke hele EKMAN's Liste over de herhenhørende Arter, vilde formentlig føre for vidt. Det er nok at fremhæve, at der dels er særdeles mange Arter fælles, dels at der ikke er særlig stor Forskel paa de Arter, der er specifikke henholdsvis for Vättern og Furesø. Kun er Furesøens langt større Rigdom paa Insekter iøjnefaldende; dette hænger naturligvis sammen med den ringe Dybde.

EKMAN gør imidlertid opmærksom paa, at de sublitorale Arter i Vättern ikke, som man kunde vente, er nøje knyttet til Vegetationen; de standser ikke der, hvor dennes Ydergrænse er. Mange af dem gaar betydelig nedenfor Vegetationsgrænsen. Heri er der, som det fremgaar af det foregaaende, en Hovedforskel mellem Vättern og Furesø.

Vätterns sublitorale Fauna mangler ikke i Furesø, men den er her i det store og hele paa det allernøjeste knyttet til Vegetationen. Dennes Ophør danner den naturlige Grænse udadtil for den aldeles overvejende Del af hele det Dyreliv, der karakteriserer den submerse Vegetation, og hvortil mange af EKMAN's sublitorale Former hører. Den er Grænselinien for næsten alle Rhabdocoeler, for Naider, for næsten alle ikke pelagiske Rotiferer, Spongiller, Bryozoaer, *Gammarus pulex* og *Asellus*, næsten alle Hydrachnider, alle Pulmonater, og næsten alle Insekter. Der bliver derved i Furesø den mest forbløffende Forskel i Dyrelivet inde i Vegetationen og udenfor denne.

EKMAN har vistnok Ret i, at det ikke i og for sig er Vegetationsgrænsens Betydelighed, der betinger saa mange Arters Udbredelse udadtil. Jeg for mit Vedkommende har længe, inden jeg kendte EKMAN's Arbejde, ikke saa meget undret mig over, at visse af Vegetationstræppernes Arter: Valvater, *Pallasiella*, *Sialis*, *Molanna*, *Piscicola* i Furesø gik et Stykke udenfor Vegetationen. Langt mærkeligere syntes det mig at være, at de ikke gik længere ud. Dobbelt mærkeligt blev dette mig, da jeg lærte EKMAN's Arbejde at kende. Naar Valvaterne i Vättern kan gaa ud over 30 m, hvorfor standser de da i Furesø ved 15 m, naar de ogsaa her kan gaa udenfor Vegetationen? Endvidere: EKMAN formoder, at Vätterns kalkfattige Vand er Grunden til, at Limnæerne ikke gaar ud i Søens profunde Region. Dette er sandsynligt. Men i vore Søer med deres overordentlig kalkholdige Vand, hvorfor standser Limnæerne her, næsten inden Vegetationen hører op? Furesøens store Limnæer kommer aldrig til Overfladen for at aande. De bruger deres Lunge som Vandlunge og har i øvrigt Hudrespiration (Forkrop, Følere). Hvorfor kan disse Dyr, der helt har emanciperet sig fra atmosfærisk Luft og tilfredsstillet den første Betingelse for Livet ude paa større Dybder, i Furesø ikke en Gang naa Skallejringernes Bælte?

Inden vi søger at besvare dette Spørgsmaal, vil vi se, hvorledes det i Furesø forholder sig med de øvrige af EKMAN omtalte Vätternfauna'er. Hans eurybathe Fauna, den altsaa, der netop bestaar af Arter uden specifik bathymetrisk Udbredelse,

som synes meget ufølsom overfor stor Variation i Temperaturen, og som i Vättern gaar ud paa de største Sodybder, viser i Furesø ganske det samme Fænomen som EKMAN's sublitorale Faunaelement. Den er ganske nøje knyttet til Vegetationen og mangler udover Furesøens dybere Søbunde. Det gælder *Hydra grisea*, *Dendrocoelum lacteum*, *Naider*, *Tubifex tubifex*, *Alona affinis*. Kun *Tubifex barbatus*, *Cyclops viridis* og *C. fimbriatus* naar udover Furesøens vegetationsklædte Gytjeflader.

Det er, som om der i Furesø er en eller anden bestemt Faktor, der hindrer alle disse Organismers Fremtrængen udover Søbunden.

Kommer vi endelig til EKMAN's sublitoral-profundale Fauna, maatte vi jo ganske naturlig vente, at den i en Sø, der ikke en Gang er 40 m, ikke forekom. Her viser det mærkelige Fænomen sig, at det netop er denne Fauna, der i Forhold til Søens Størrelse og Dyb er ganske godt repræsenteret. Til denne Gruppe bør i hvert Fald regnes: *Plagiosiomum Lemani*, *Limnocythere inopinata*, maaske *Limnocythere relicta*, *Darwinula Stevensoni*, *Cytheridea lacustris*, *Pontoporeia affinis*, *Mysis relicta* og mulig visse Chironomider.

Da Chironomiderne i Furesø ikke er bearbejdede, maa vi i det store og hele se bort fra denne Gruppe. Saameget kan dog allerede nu siges, at der mellem Vätterns og Furesøens Bundfauna bestaar den meget væsentlige Forskel, at medens *Tendipes*-Gruppen, de store, røde Chironomidelarver med Blodgæller, ganske mangler i Vättern (EKMAN 1905 p. 342), er det netop denne Gruppe, der dominerer i Furesø. *Tanytarsus*-Gruppen derimod, der saa vidt vides ganske mangler i Furesø, er netop Karakterdyr for Vättern. Dette er i Overensstemmelse med THINEMANN's Angivelse af, at *Tendipes*-Arterne findes i de iltfattige Søer, *Tanytarsus* i de iltrige (se senere). Men det bør dog fremhæves, at *Tanytarsus*-Gruppen ikke mangler ganske i de baltske, lave Søer med Dybder paa 30—40 m, og hvis kemiske Forhold næppe er forskellige fra Furesøens; de er saaledes Karakterdyr i Haldsø og findes Side om Side med *Tendipes*-Gruppen paa Bunden af Esromsø.

For yderligere at precisere hele Fænomenets Ejendommelighed vil vi et Øjeblik se paa den profunde Faunas Afstamning.

Man har jo til Tider haft meget forskellig Opfattelse af, hvorfra de dybere Søbundes Fauna stammede. At fortabe sig dybere i de forskellige Teorier og yderligere bære Sten til, hvad der kunde tale for og imod dem, er der formentlig ingen Grund til. Af Hensyn til Fremstillingen her er dog en kort Rekapitulation nødvendig. Det var FOREL, der først antog, at denne Fauna var en af de ydre Kaar udpræget, stærkt specificeret Fauna. Senere opgav han den Anskuelse og ansaa den for en „Kümmers-fauna“, som kun kunde holde sig, hvis den stadig fik fornyet Tilskud fra Litoralregionen. ZSCHOKKE's Standpunkt, der ogsaa deles af EKMAN, er, at Dybvandsfaunaen sammensættes dels af Former, der nu fuldkommen har tilpasset sig til de extreme Kaar, dels af saadanne, som for at holde Valpladsen stadig maa have fornyet Tilskud fra Litoralregionen.

I det store og hele er det FOREL's to Teorier, der begge har haft Livskraft; det, Efterverdenen har haft at rette, er væsentlig, at ingen af de to alene forslaar.

De forskellige europæiske Søbundes Fauna har, saa vidt vi foreløbig kender dem, og som ventelig var, mange Former fælles. Vi kan i de centraleuropæiske Søer ud-

skille et Element, der ikke synes at strække sig ud til Søerne over det mellemeuropæiske Slette-land og videre nordpaa. Det bestaar væsentlig af *Asellus cavaticum*, *Niphargus puleanus* samt de abyssale Limnæer. Af Øjesyn ved jeg, i hvilken utrolig Mængde Krebsdyrene befolker Schweiz-søernes profunde Region. De nordeuropæiske og baltiske Søer har et andet Faunaelement, som kort kan betegnes som de Lovén-ske Relikter; EKMAN (1915 p. 395) har sikkert Ret i, at der bortset fra dem næppe findes en fra den centraleuropæiske Dybvandsfauna specifik nordisk Fauna. Ubiquisterne og de Former, der fra Litoralregionen vandrer ud paa dybere Vand, er for Vätterns og de alpine Søers Vedkommende enten de samme Arter, eller de er i det store og hele nær beskægtede.

Ser vi nu med disse Meddelelser for Øje paa Faunaen i Furesøens profunde Region, bliver vi slaaet af følgende Resultat.

De store dybe Søers Dybvandsfauna (Ekmans Gruppe: den sublitorale profunde Fauna) er faktisk om end sparsomt, repræsenteret i Furesø. Den Gruppe, der næsten mangler er netop de sublitorale Arter; af Ubiquisterne er der kun yderst faa tilstede. Resultatet er lige det omvendte af, hvad man kunde have ventet.

Man kunde have troet, at den Del af de store Søers Fauna, som fortrinsvis lever i den øvre Del af deres profunde Region, og hvis Hjem egentlig er disses sublitorale Region (ud til c. 50 m), var den, der rykkede ud og tog Furesøbunden med dens Maximaldyb paa c. 40 m i Besiddelse. Endvidere maatte man tro, at de store Søers udpræget profunde Former helt havde manglet. Det er lige det omvendte, der viser sig at være Tilfældet. Er man først kommen saa langt, begynder man at forstaa, at Livskaarene paa Bunden af Furesø vistnok paa væsentlige Punkter er meget vanskeligere end paa Bunden af de store, dybe Søer. De Former, der helt har tilpasset sig til Livet i den profunde Region, kan ogsaa leve selv under saa extreme Kaar som dem, Furesø byder. For de Former derimod, der horer til Litoralregionens nedre Grænser, er Kaarene, saa snart de kommer udenfor Vegetationen, af den Natur, at de faktisk ikke kan klare Situationen.

Paa den mest ubegribelige Maade standser i Furesø næsten al Vegetationszonens rige Dyreliv et eller andet Sted i Skallæjringernes Bælte (7—15 m). BRINCKMAN siger udtrykkelig (1905 Anm. p. 28) om Rhabdocoelerne: „Den interessante Udvandring af Breddens Arter til dybere Vand som DU PLESSIN har iagttaget i Genfersøen, findes ikke“. DITLEVSEN siger: „Skalbæltet afspærrer — uvist af hvilken Grund — hvad Oligochæterne angaar, Dybvandsformerne fra Bredformerne“. SØREN JENSEN kommer for Ostracoder og Copepoder til et ganske lignende Resultat. Jeg for mit Vedkommende kan tilføje: det afspærrer Dybvandets Amphipoder og Insekclarver fra Litoralregionens.

---

Spørgsmaalet, der altsaa nu rejser sig, er dette: Hvad er det for en Faktor, der i Furesø hindrer Litoralregionens Dyreliv i at brede sig ud over Søbunden? I det jeg gaar ud fra, at Furesø i det store og hele kan opfattes nogenlunde som Typen paa middelstore baltiske Søer med Dybder paa indtil c. 40—50 m, er jeg tilbøjelig til at udvide Spørgsmaalet saaledes: Hvad er Grunden til



Artsfattigdommen i de baltiske Søers profunde Region, et Fænomen, der bliver saa meget mere iøjnefaldende, naar det sammenlignes med Forholdene i de alpine Søer og andre store Søers som Vätterns? Hvorfor er i de førstnævnte det litorale Faunaelement i saa høj Grad tilbagetrængt? Det er, som om der i de baltiske Søer er en eller anden Faktor, der hindrer dette Dyreliv i at bemægtige sig Søunden udover en vis Dybde (c. 15 m), medens der i de store og dybe Søer ingen Vanskeligheder i saa Henseende er til Stede.

Længe var det mig en Gaade, hvilken Faktor det var, der her gjorde sin Indflydelse gældende. At Temperaturforhold og Vandets Gennemsigtighed direkte skulde kunne øve deres Indflydelse paa denne Fauna, der levede mer eller mindre nedgravet i de dybere Søundes Dyndaflejringer, ansaa jeg ikke for sandsynligt. Det var først, da de thermisk-kemiske Undersøgelser af BRØNSTED og W.-L. forelaa (1912), at man syntes at rykke Gaadens Løsning et Skridt nærmere. De kemiske Undersøgelser gav nemlig det paa den Tid ganske uventede Resultat, at der i Sommeren og Efteraarsmaanederne hersker en meget stor Iltmængde paa Bunden af Søen. Den er ikke mere end  $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$  af Iltmængden i Overfladen. Det laa nu nær at formode, at det er denne yderst ringe Iltmængde (ned til 1.05 cm i Litr.), som maatte være en Hindring for mange Dyr i at rykke ud og tage de dybere Søunde i Besiddelse.

Det, det nu gjaldt om, var at faa at vide, hvor stor Iltmængden var ude over Dybet i de store og meget dybe Søer (Lac Lemman, Vierwaldstättersø, Vättern), hvis Bundfauna i Sammenligning med vore Søers var saa overordentlig rig. Løselig maatte man jo vente, at der var ikke Ilt nok paa Bunden af Søer paa 40 m Dyb, maatte der være endnu mindre paa Søer med 2—300 m Dyb. Her svigtede Literaturen imidlertid ganske. Det var i 1910—11 ikke muligt at vise, at de baltiske Søers svagt udviklede profunde Fauna skyldtes Sommerhalvaarets ringe Iltmængde over Søunden, ikke heller at en eventuel stor Iltmængde var Betingelse for, at Faunaen kunde erobre de dybeste Søunde i de store alpine Søer, i Vättern etc.

Forholdene stiller sig nu (1916) bedre, dog er Undersøgelserne endnu ikke ført saa langt ud, som ønskeligt var. Underlig nok er endnu den Dag i Dag Furesø den eneste Sø, hvor vi samtidig har et nogenlunde Kendskab baade til de kemiske Processers Gang et Aar igennem og til Bundfaunaen. Hverken fra Genfersø, Vierwaldstättersø, Brienz- og Thunersø, Luganersø, eller Vättern, hvis Bundfauna nu er nøje kendt, foreligger kemiske Undersøgelser over Søvandet baseret som i Furesø paa Analyser, anstillede i to Aar med c. 3—4 Ugers Mellemrum. Der foreligger kun enkelte Prøver, men disse peger ganske vist alle i den rigtige Retning. EKMAN angiver, at Iltmængden i Vättern over Bunden paa 118 m  $\frac{13}{10}$  1912 var 8.71. Naar vi hermed sammenligner Iltmængden  $\frac{12}{10}$  1906 og  $\frac{15}{10}$  1909 i Furesø og bemærker, at den da henholdsvis er 1.05 og 2.75, ser vi, at der er en meget stor Forskel i Iltmængden paa Bunden af Furesø og Vättern.

Respirationsbetingelserne paa sidstnævnte Sted maa være langt gunstigere end paa Furesøens Bund. Enkelte Prøver fra Genfersø viser det samme: Her var efter DELEBECQUE Iltmængden  $\frac{14}{10}$  1898 6.59. Ogsaa HOPPE SEYLERs Prøve af Iltmængden i Bodensø  $\frac{15}{10}$  1892 i 245 m viser et lignende Resultat: Iltmængden 6.68. Det synes af disse enkelte Prøver at fremgaa, at i disse store, dybe Søer er Iltmængden ved



Bunden omtrent som ved Overfladen; det er derfor ret naturligt, at disse Søer har en yderst artrig Fauna.

Vort Resultat: at Iltmængden paa Bunden af Furesøen om Sommeren var meget ringe, var omtrent samtidig blevet paavist ogsaa for andre baltiske Søers Vedkommende. HALBFASS var kommet til et lignende Resultat, hvad de pommerske Søer angaar; FREIDENFELT (1912) viste det samme for Ørensøen i Smaaland, og i 1910 angav SCHICKENDANTZ, at i Sakrower See ved Potsdam i en Dybde af  $34\frac{1}{2}$  m, altsaa næsten svarende til Furesøens var Iltmængden i hele Sept.—Okt.—Nov. = 0. Det var efter ham Dyrelivet, der opbrugte alt Iltten. I disse nordtyske Søer er imidlertid endnu den Dag i Dag Søbundens Fauna meget lidt kendt.

Det var egentlig først ved JUDAY's og BIRGE's store Arbejde over The inland lakes of Wisconsin (udk. 1911, men først naaet os, da Brøndsted og mit Arbejde var trykt) og ved THINEMANN'S Undersøgelser i Eifelmaarene i 1915, at Tanken om Afhængighedsforholdet mellem Søbundens Fauna og Vandets Iltholdighed fra de løse Hypothesers Verden blev løftet op mod Kendsgjerningernes klare Dagslys.

Hvad vi havde forsøgt at gennemføre alene for Furesøens Vedkommende, har BIRGE og JUDAY faaet gennemført for c. 150 amerikanske Søer. Kendskabet til Søernes Thermik og Chemi blev ved dette Arbejde øget i høj Grad. I det store og hele supplerer vore Undersøgelser vistnok hinanden; men selv BIRGE's og JUDAY's Arbejde omfattede ikke Bundfaunaen i de undersøgte Søer. Man kan altsaa ikke fra dette hente nogenomhelst direkte Oplysning, om hvorvidt den større eller mindre Iltmængde i en Søs dybere Vandlag over bestemmende Inflydelse paa Bundfaunaens Rigiditet og Sammensætning. Alligevel blev disse Undersøgelser theoretisk set af stor Betydning for mine Studier, fordi man ud fra dem med ret stor Sikkerhed kan slutte sig til, at Iltmængden i de meget store og dybe Søer maa være større ved Bunden end i de middelstore.

B. og J. inddeler de af dem undersøgte Søer i to store Grupper: de, hvis samlede Vandmasse om Sommeren fra Bund til Overflade kommer i Cirkulation, og de, i hvilke der altid forbliver en større eller mindre Vandmasse, som undrages Cirkulationen. De første er de ganske lave Søer med Dybder paa 3—10 m (Eksempler fra Undersøgelsesterrainet: Lyngby Sø, Bagsværd Sø, Bastrup Sø). Den anden Gruppe indeholder Søer, som i thermisk og kemisk Henseende forholder sig yderst forskellig. I nogle er det Lag, der ikke deltager i Cirkulationen, meget ringe (Farum Sø, Søllerød Sø), i andre, f. Ex. Furesø, tykkere (c. 10—15 m). I disse dybere Søer sker der altsaa i Sommerens Løb i den Del af Vandmassen, som ikke deltager i Cirkulationen, og som altsaa ligger nærmest Bunden, et Iltforbrug, der i nogle Søer beløber sig til indtil c. 80% af den Iltmængde, der er i Overfladen; i andre er Iltforbruget saa stærkt, at der om Sommeren overhovedet ikke er Spor af opløst Ilt i større eller mindre Dele af de nedre Vandlag. Furesø hører til den første af de to Grupper, men den yderst lave Iltmængde (0,92, maalt  $\frac{29}{8}$  1907) tyder paa, at den i betænkelig Grad kan nærme sig til den sidste. B. og J. omtaler Søer, hvor al Ilt i et Vandlag af forskellige Tykkelse er opbrugt i hele 5 Maaneder af Aaret. Ilttabet begynder, som naturligt er, altid først at vise sig nærmest Bunden; der er maalt Vandlag, hvor al Ilt mangler til en Tykkelse af c. 15 m. I Lake Mendota var  $\frac{1}{3}$  af hele Vandmassen blottet for Ilt.

Iltmanglen fremkommer først og fremmest ved, at der i en thermisk lagdelt Sø ikke tilføres de under Thermoklinen hvilende Lag ny Ilt; de kommer ikke i Berøring med atmosfærisk Luft; Algernes photosyntetiske Virksomhed er i disse dybere Vandlag yderst ringe, og den Iltmængde, som eventuelt Grundvand vil kunne tilføre en dyb Sø, er sikkert ligeledes meget ubetydelig. Den Iltmængde, Vandlagene under Thermoklinen om Sommeren har, kan altsaa ikke øges før Efteraarets Cirkulationsperiode. I den givne Iltmængde vil der, da flere Faktorer tærer paa den i Sommerens Løb, endvidere gaa Svind. Dels bruger de levende Organismer Iltten til deres Respiration; dels og navnlig gaar meget store Dele med til Dekomposition af organisk Materiale. Dette er af forskellig Beskaffenhed: Plankton, der dør, langsomt synker nedad og under Destruktionsprocesserne under Nedsynkningen tærer paa Iltmængden i de Vandlag, de synker ned igennem. Denne Nedsyngen kan i Furesø for visse Organismers Vedkommende tage tre Uger. Fremdeles Kystvegetationen, i vore Søer ganske væsentlig Bøgeblade, losrevet Vegetationsmateriale etc.

Hurtigheden, hvormed Iltten opbruges, afhænger væsentlig af tre Faktorer: Massen af det Materiale, der skal dekomponeres, Vandets Temperatur og Vandmassens Størrelse under Thermoklinen. Jo mere Materiale, jo højere Temperatur, jo mindre lagdelte Vandmasser, desto hurtigere opbruges Iltten. Betragter vi nu Furesøen med disse Forhold for Øje, vil vi formentlig komme til følgende Resultat.

I Furesø som i alle Søer, der ligger i frugtbart delvis opdyrket Terrain, føres uhyre Masser af organisk Materiale ud i Søen; Bundtemperaturen er høj. I Sommeren 1906—1907 steg den til 13.4 og var i Juni—November over 10° C. Den lagdelte Vandmasse er, da Søen jo i det hele er lille, ikke stor. Furesø maa høre til de Søer, hvor Respirationsforholdene i den profunde Region i Sommertiden maa kunne blive yderst ugunstige. Da alle de mindre baltiske Søer ligger under ganske lignende Forhold, tør vi formode, at dette Resultat i alle disse Søer i det store og hele vil være det samme.

BIRGE's og JUDAY's Undersøgelse støtter altsaa den her fremsatte Opfattelse om Aarsagen til disse Søers fattige Bundfauna. Men den giver os tillige Forstaelsen af, hvorfor de dybe Søers Bundfauna er rigere. Ud fra det ovenfor sagte maa vi nemlig formode, at i de store Søer med deres mægtige Vandmasser og store Dybder vil Iltten i de thermisk lagdelte Vandlag umulig kunne opbruges. Ligger Søerne, som Tilfældet er med de alpine Søer, i ikke nær saa frugtbart Terrain som vore, vil den Masse af organisk Materiale, der skal dekomponeres i Søen, være mindre. Planktonrigdommen i disse store Søer staar langt tilbage for den i vore smaa Søer; Bundtemperaturen paa de store Dyb kommer ikke op over 4—5° C., og de thermisk lagdelte Vandlag er i Sammenligning med Furesø uhyre.

I det af BIRGE og JUDAY undersøgte Terrain (1911) manglede dybe Søer ganske; ingen af de af dem undersøgte Søer havde Dybder over c. 70 m. I et senere Arbejde (1914 p. 529) har de søgt at udvide deres Undersøgelser til de Forenede Staters største og dybeste Søer, beliggende øst for Rocky Mountains, nemlig Cayuga og Seneca lake, henholdsvis c. 130 og 188 m. Desværre lykkedes det dem ikke at gennemføre Vinterundersøgelser, men de gaar ud fra (p. 578), at i disse dybe Søer vil Iltmængden ikke gaa ned om Vinteren. Hvad der i denne Sammenhæng er af Vigtighed, er, at

de for disse store og dybe Søer kunde paavise, at Iltmængden om Sommeren ved Bunden var langt højere end i de lavere; den varierede fra 5.57 i Keuka-Lake til 8.45 i Seneca Lake. Den Vandmasse, der i saadanne Søer ligger under Thermoklinen, (af B. og J. kaldet hypolimnion) er, som det fremhæves p. 581, saa stor og saa kold, at hverken Organismernes Respiration eller Dekompositionen af organisk Materiale er i Stand til at gøre nævneværdigt Indgreb i Mængden af Vandmassernes frie Ilt. Dermed er ogsaa Beviset leveret for, hvad der endnu lige til 1914 maatte staa som hypotetisk, at Respirationsforholdene paa Bunden af de store og dybe Søer er langt bedre end i de lave.

De her publicerede Sider var nedskrevne, da jeg i Slutn. af 1915 modtog THINEMANN's Studier: *Physicalische und chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel*. Allerede før (1913) havde THINEMANN (p. 243) gjort opmærksom paa Forholdet mellem Dybsovandets Rigdom paa Ilt og Dybsofaunaens Sammensætning. Han var gennem Studier over Eifel-Maarerne kommet til det Resultat, at i de dybe, klare Søer med omtrent samme Iltprocent ved Bund og Overflade var det *Tanytarsus*-Gruppen af Chironomiderne, der dominerede i Sobunden; i de lavere, planktonrige Søer med ringe Iltmængde var Sobunden befolket af de store røde Chironomider. Derefter deltes Søerne i *Tanytarsus*-Søer (de alpine) og *Chironomus*-Søer, de baltiske, hvortil han efter Angivelser fra mig ogsaa regnede Furesø. THINEMANN generaliserede her vistnok for stærkt, og rigtigt er Hovedresultatet næppe. En nærmere Undersøgelse mangler.

I 1915, støttende sig til BIRGE og JUDAY's Arbejder, men uden Kendskab til deres sidste Arbejde 1914, fører han sine Studier meget længere frem. Efter disse Undersøgelser falder Eifel-Maarerne i to Grupper. I. I den første er Iltmængden til alle Aarstider lige til de største Dybder (c. 70 m) meget betydelig; Ilttabet ved Bunden er kun ringe, men det staa ikke i Forbindelse med den thermiske Lagdeling. I II. bliver under Oxydationsprocesserne i Sommertiden i de dybere Vandlag den største Del af Iltten brugt. Der er i disse Søer den nøjeste Sammenhæng mellem den thermiske Lagdeling og Lagdelingen efter Iltmængde. Over Thermoklinen er Iltmængden omtrent den samme og kun varierende springvis; under er den pludselig meget aftagende, og Svindet foregaar konstant og regelmæssig.

I Overensstemmelse hermed deler THINEMANN Søerne i tre store Grupper, af hvilke I og II svarer til Beskrivelserne I og II ovenfor. Til No. III hører Søer, der ingen Thermoklin har, og hvor Iltmængden til alle Aarstider altid er nogenlunde lige stor. Til No. I regnes de store og dybeste Søer Genfersø, Bodensø o. s. v. Til No. II de baltiske med Middeldyb, som Ex. nævnes Furesø, til III de ganske lave Søer.

Omtrent ganske paa samme Maade som jeg har THINEMANN, ligeledes støttende sig til BIRGE og JUDAY's Undersøgelser, omtalt Aarsagen til Forskellen i Iltmængden ved Bunden af Søerne, fortrinsvis henført dem til den større eller mindre Mængde organisk Substans, der udføres i Søerne, omtalt Kilderne til organiske Stoffer og fremhævet de Faktorer, der bevirker, at Ilttabet under Thermoklinen i Gruppe II foregaar mer eller mindre intensivt.

En ganske særlig Grund til, at Iltmængden i Søer af Gruppe I ikke aftager under Thermoklinen, vil THINEMANN søge i, at Gruppe I er fattigere paa Plankton end

No. II og navnlig i, at Phytoplanktonet, der kommer rigeligst til Udvikling i Søer af Gruppe II (s: de middeldybe Søer), ganske særlig opholder sig i de øverste Vandlag, hvor de virker som en iltproducerende Faktor. Dette er vistnok i det store og hele rigtigt, dog er det vel et Spørgsmaal, om Planktonets Betydning ikke er noget overdrevet. Rigtigere er det vistnok at sige, som THINEMANN ogsaa slutter med: at det yderst komplicerede Spørgsmaal om de større eller mindre Iltmængder ved Bunden af Søerne i sidste Instans bør føres tilbage til det omgivende Areal's geografiske Beliggenhed og geologiske Forhold.

Som Resultat af disse forskellige Undersøgelser kan man nu med Sikkerhed slaa fast, at Iltmængden ved Bunden af Søerne i Slutningen af Sommerhalvaaret altid er mindre end ved Overfladen, men at den Mængde, der under Stagnationen er forbrugt, er yderst forskellig i de forskellige Søer. I de store, dybe Søers Bundvand er Iltmængden selv under Stagnationsperioderne ikke synlig forskellig fra Iltmængden i Overfladen. Endvidere ved vi med Sikkerhed, at Iltmængden i Søer med Middeldyb og liggende under saadanne Forhold, som er de normale for de baltiske Søer om Sommeren, enten opbruges helt eller kun er en ringe Brøkdel af Overfladens. Vi ved endvidere, at de førstnævnte Søer huser en meget artrig Fauna, de sidstnævnte en meget fattig. Saalænge intet andet foreligger, er det paa vor Videns nuværende Standpunkt naturligst at antage, at en Søbunds Artsrigdom fortrinsvis afhænger af den Iltmængde, der om Sommeren findes i de dybere Vandlag. Til den ringe Iltmængde i de baltiske Søers Bundvand kan kun en fattig Fauna tilpasse sig; til Gengæld kan denne Faunas Individrigdom være overordentlig stor. Hvor stor denne er, hvor mange Individuer, der findes paa et bestemt Flademaal, derom ved vi i Øjeblikket intet, men det er at vente, at kommende Undersøgelser bør kunne give Svar herpaa.

At den Del af de store Søers profunde Fauna, som bliver relativt rigest repræsenteret i de baltiske Søer med Middeldyb, netop hører til de mere udpræget profunde Former, færdig tilpassede til de extreme Kaar, som Livet ude paa de mørke, bløde Søbunde kan byde er naturligt. Omvendt kan man nu ogsaa forstaa, at den Del af de store Søers profunde Fauna, som er svagest repræsenteret i de baltiske Søers dybeste Partier, maa blive den, der hyppigst maa rekruterer fra Litoralregionen. Netop for denne Faunadel vil Iltmanglen i Sommerhalvaaret i de baltiske Søer blive den Faktor, der faar den til at standse paa sin Vej ud imod Dybet og hindre den i at tage de baltiske Søbundes profunde Region i Besiddelse. Da denne Iltmangel ikke hersker ude paa de store, dybe Søers Søbunde, er den i hvert Fald ikke her nogen Hindring for, at Litoralfaunaen kan rykke ud og under fortsat Rekrutering langsomt omdanne sig til Livet under de extreme Kaar, de store Søers profunde Region byder sine Beboere.

Det kan endnu tilføjes, at samtidig med, at Ilten aftager om Sommeren i Furesø, tiltager Kulsyre-mængden meget stærkt. Dette kan være en medvirkende Grund til, at mange Organismer, maaske navnlig Mollusker, har ondt ved at leve der; men foreløbig kan vi ikke regne hermed; thi vi kender kun lidt til, hvorledes det



forholder sig med Kulsyre-mængden til de forskellige Aarstider ude over de store Søers største Dyb.

Der kan maaské være Grund til at tilføje, at fornylig (1915) har JUDAY som den første undersøgt Iltforholdene i tropiske (centralamerikanske) Ferskvande. Søerne er beliggende i Guatemala og San Salvador. Forholdene viste sig her at være noget lignende som i de tempererede Søer. Ilten maa i de lavere Søer formodes ganske at opbruges i Vandlagene nær Bunden; i den dybe Lake Atitlan (Maximaldyb 322 m) var Forskellen i Iltmængden ved Bund og Overflade kun ringe. Af stor Interesse er JUDAY's Paavisning af, at Iltmængden i de tropiske Søer i det hele i alle Dybder var betydelig mindre end i de af ham undersøgte nordamerikanske tempererede Søer. Han angiver saaledes, at i den tempererede Sø Seneca lake var Iltmængden i Overfladen 6 Procent over Mætningspunktet, medens den i den tropiske Sø, Atitlan Lake, var henimod 13 Procent under Mætningspunktet. Ganske mærkelig lyder en Angivelse af DOWNES (1911 p. 133) om, at Vandet i Reservoirerne i Panama-Kanal-Zonen hele Aaret igennem var lagdelt, og at der hele Aaret igennem i en Dybde af kun 3 m praktisk talt ikke var opløst Ilt til Stede.

Den, der i en Aarrække har studeret den tempererede Zones Søer og fulgt med i, hvad der er skrevet om arktiske og tropiske Søer, kan ikke frigøre sig for den Opfattelse, at vor Jordklodes rigeste lacustrine, lavere Dyreliv findes i de tempererede Søer. Om de tropiske Søers Dyreliv er det vel i Øjeblikket vanskeligt at danne sig nogen Forestilling; ud fra vort nuværende Kendskab synes den Opfattelse dog berettiget, at den tropiske Zones uendelige Rigdom paa Arter og disses luxuriøse Udstyr i mindre Grad gælder Ferskvandfaunaen end Havets og Landjordens Fauna. Man finder ogsaa denne Opfattelse fremsat i Rejsebeskrivelser. Vil en Fremtid vise, at den er rigtig, er den Forklaring da ikke nærliggende, at ligesom de slette Ernæringsforhold sætter en Grænse for Livets rige Udfoldelse i arktiske Søer, er det de slette Respirationsforhold i de tropiske Søer, betinget af disses høje Temperatur og af, at Ilten bruges til Dekompositionen af de uhyre Masser af organisk Materiale, der forårsager, at Ferskvandets Dyreliv i Troperne ikke naar den enorme Frodighed, som iøvrigt kendetegner Tropelandene?

Naar man med de her publicerede Studier og med BLEGVAD's smukke Arbejde over Nærings- og Ernæringsforholdene hos Havbundens Dyreliv (1914) for Øje betragter vore Søbundes profunde Dyreliv, bliver man slaaet af, hvor uendelig fattige de ferske Vandets Søbunde er. Mest ejendommeligt synes det mig at være, at disse selv i de største og dybeste europæiske Søer, naar man ser bort fra et Par enkelte Amfipoder og Isopoder, næsten udelukkende befolkes af lutter mikroskopiske eller ganske smaa Organismer. Kun i Søer, der raader over Dybder paa over 600 m (Bajkal, Tanganyika), viser der sig store Former (Amfipoder, prosobranche Snegle o. a.). Ikke mindre mærkeligt er det, at Faunaen paa de dybe Søbunde i saa overordentlig ringe Grad er tilpasset til at indfange den Næringsregn, der fra oven gennem Vandlagene drysser ned til dem. Alle Organismer med Fangkroner mangler næsten ganske; den eneste Undtagelse er *Fredericella*, som i de baltiske Søer kun er paavist i Litoralregionen, men som er alm. paa Bunden af de store Schweiz-søer og i Vättern. Snabeldannelser skikkede til at sluges Bundens Detritus, Følere der kan lægges henover Sø-

bunden, Haar- og Borstedannelser, der kan indfange Detritus, Bygningsforhold, der karakteriser Havbundens Dyreliv, er absolut ukendt i Søernes profunde Region. Bortset fra Pisidierne og Rhizopoderne faar alle de øvrige Organismer vistnok deres Føde ganske simpelt ved med Mundhulen at sluge Smaapartikler eller højst at gribe dem med Munddelene og tygge dem. Mærkelig er ogsaa den næsten absolute Mangel paa Roydyr. Af saadanne findes vistnok ikke andre end *Tanypus*-Larverne, samt Hydrachniderne, der spiller en meget underordnet Rolle.

## LITTERATURFORTEGNELSE.

1915. AARNIO, B.: Ueber die Ausfällung des Eisenoxyds und der Tonerde in Finnländischen Sand- und Grusböden. Geologiska Kommissionen i Finland 16. p 1.
1916. ALM, G. Faunistische und biologische Untersuchungen im See Hjälmaren (Mittelschweden). Arkiv för Zoologi 10 p. 17—47.
1916. ALM, G. Monographie der Schwedischen Süßwasser-Ostracoden nebst systematischen Besprechungen der Tribus Podocopa Trib. I. Zoologiska Bidrag. Upsala. 4 p 1.
1908. ASCHAN, O. Humusämnen i de nordiska indlandsvattnen och deras betydelse, särskildt vid sjömalternas daning  
Bidrag till Kännedom af Findlands Natur och Folk 66 p 1.
1911. BADMANN, E. Die Vegetation des Untersees (Bodensee). Stuttgart.
1908. BIRGE E. A. and JUDAY C. A. summer resting stage in the Development of *Cyclops bicuspidatus*. Transact. of the Wisconsin Academy of Sciences. p 1.
1911. — : The inland lakes of Wisconsin. The dissolved gases of the water and their biological significance. Madison.
1914. — : A limnological study of the Finger lakes of New York. Bull. of the Bureau of Fisheries 33. 1912 p. 523.
1914. BLEGVAD, H. Undersøgelser over Nærings- og Ernæringsforhold hos Havbundens invertebrate Dyresamfund i danske Farvande.  
Beretning fra den danske biologiske Station. 22 p 37.
1894. BLUDAU, A. Die Ographie der preussischen und pommerschen Seenplatte. Petermanns Mitteil. Ergänz. 110.
1909. BOLLINGER, G. Zur Gastropodenfauna von Basel und Umgebung. Inaug.-Dissert. Basel.
- 1880—1881. BOURGUIGNAT, J. Matériaux pour servir à l'histoire des Mollusques Acéphales du Système Européen. Poissy.
1914. BOYSEN JENSEN, P. Studier over Havbundens organiske Stoffer.  
Beretning fra den danske biologiske Station 22 p 3.
1896. BRAND, F. Ueber die Vegetations-Verhältnisse des Würmsees. Botan. Centralbl. 65 p 1.
- 1909—1911. BRAUER. Die Süßwasserfauna Deutschlands.
1867. BRAUN, A. Die Characeen Afrikas. Monatsber. d. Königl. Akad. d. Wissensch. zu Berlin.
1903. BRAUN, G. Ostpreussens Seen. Dissert. Königsberg.
1906. BRINKMANN, A. Studier over Danmarks rhabdocoele og acoele Turbellarier.  
Vid. Med. Nat. Foren. p 1.



1913. BROCHER, F. L'aquarium de Chambre. Lausanne.
1895. BROCKMEIER, H. Ueber Süßwassermollusken der Gegend von Plön. Forschungsberichte aus d. Biol. Station zu Plön.
1912. BRONSTED, (J. N.) und WESENBERG-LUND, (C.): Chemisch. physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer. Intern. Rev. 6 p. 251.
1900. BUCHNER, O. Beiträge zur Formenkenntnis der einheimischen Anodonten. Jahresh. d. Vereins f. vaterl. Naturkunde in Würtbg.
1873. CLESSIN, S. Beiträge zur Molluskenfauna der oberbayerischen Seen. Corresp. Blatt des zool.-miner. Vereins. — Regensburg.
1884. —: Deutsche Excursions-Mollusken Fauna. Zweite Auflage. Nürnberg.
1897. —: Ueber den Einfluss der Umgebung auf die Gehäuse der Mollusken. Jahresh. f. vaterl. Naturk. in Würtbg.
1904. DITLEVSEN, A. Studien an Oligochäten. Zeit. f. wiss. Zoologie. 77 p. 397.
1911. DOWNES. Proceed. Med. Asso. of Isthmus of Panama 3 p. 133. cit. after Juday 1915.
1914. EKMÄN, S. Sedimentering, Omsedimentering och Vattenströmningar i Vättern. Ymer. p. 346.
1915. —: Die Bodenfauna des Vättern qualitativ und quantitativ untersucht. Intern. Revue, Leipzig. 7 p. 146.
1915. —: Om insjöarnes djupfauna. Populär naturvetenskapliga Revu. p. 15.
1907. ELLIS, D. contribution to our knowledge of the thread-bacteria I. Centralblatt für die Bakteriologie und Parasitenkunde 19 p. 502. II. ibid. 26 p. 321.
1911. FEHLMANN, J. W. Die Tiefenfauna des Luganer Sees. Intern. Revue. Biolog. Suppl. Ser 4 p. 1.
1883. FLORA Danica. XVII 49. Kjöbenhavn.
- 1892—1904. FOREL, F. A. Le Léman. Monographie limnologique I-III. Lausanne
1911. FREIDENFELT, T. Temperatur und Gasgehaltuntersuchungen im See Ören. Lunds Universitets Aarskrift. N. F. Afd. 2. 8 p. 1
1910. DE GEER: A Geochronology of the last 12 000 Years. XI Congres géologique international. p. 24.
1909. GEYER, D. Unsere Land- und Süßwasser-Mollusken. Zweite Auflage. Stuttgart.
1895. GROVES, H. & J.: Notes on the British Characeae. Journ. of Bot.
1914. GÖTZINGER, G. Bericht ueber die physikalisch-geographischen Untersuchungen an den Lunzerseen Intern. Revue. Leipzig. 6 p. 538.
1913. HAAS, F. Bemerkungen ueber Spenglers Unionen. Videnskab. Meddel. f. Dansk naturhist. For. i Kjöbenhavn. p. 51.
- 1903—1904. HALBFASS, W. Die Morphometrie der europäischen Seen. Zeit. d. Gesellsch. f. Erkunde Berlin 1903 p. 592, 706, 784. 1904 p. 204.
1881. HAZAY, J. Die Mollusken Fauna von Budapest. Malakozoologische Blätter. Neue Folge. 3 p. 1, 4 p. 43 Kassel.
1885. —: Die Limnæen der Gruppe *Gulnaria* Leach. ibid. N. F. 7 Kassel p. 18.
1911. v. HOFSTEN, N. Zur Kenntnis des Tiefenfauna des Brienzer und des Thuner Sees. Archiv f. Hydrob. und Planktonkunde. 7 p. 1.
1905. JENSEN, S. Faunistisk Fortegnelse over de danske Ferskvands-Copepoder. Vidensk. Medd. nat. Foren. Kjöbenhavn p. 111.
1904. —: Biologiske og systematiske Undersøgelser over Ferskvands-Ostracoder. ibid. Kjöbenhavn p. 1.
1832. JENYNS, L. A monograph on the british species of *Cyclas* and *Pisidium*. Transactions of the Cambridge Philosophical Society 4.
1899. JOHANSEN, A. C. Bidrag til vore Ferskvandsmolluskers Biologi. Videnskab. Meddel. fra den nat. For. i Kjöbenhavn for Aaret 61 p. 147.
1902. —: Om Aflejringer af Molluskernes Skaller i Indsøer og i Havet. ibid. 63 Kjöbenhavn p. 5.
1915. —: Note on the Danish species of *Pisidium*. ibid. 66.
1915. JUDAY, C. Limnological studies on some lakes in Central-America. Transactions of the Wisconsin Academy of Science 18 p. 214.
1899. KELLY, H. M. A statistical study of the Parasites of the Unionidæ. Bull. of the Illinois State Laboratory. 5 p. 399.

1912. KESSLER, E. Ueber eine Abart von *Canthocamptus staphylinus*. Archiv f. Hydrobiologie und Plantonkunde 8 p. 179.
1890. KLINGE, J. Über Einfluss der mittleren Windrichtung auf das Verwachsen der Gewässer. Englers Jahrb. 13.
1870. KOBELT, W. Zur Kenntniss unserer Limneen aus der Gruppe *Gulnaria* Leach (*Radix* Montf.), Malakozoologische Blätter 17 Cassel p. 145.
1904. KOROTNEFF, A. de. Resultats d'une expedition zoologique au lac Baikal pendant l'été de 1912. Archives zool. exper. et génér. 32.
1902. KRÜMMEL, O. Der Ozean. Das Wissen der Gegenwart 52 Leipzig.
1864. LANGE, JOH. Haandbog i den danske Flora. 3. Udg. Kjøbenhavn.
1907. LAUTERBORN, R. Eine neue Gattung der Schwefelbakterien (*Thioploca Schmidlei* nov. gen. nov. sp.). Ber. Deutsche botan. Gesellsch 25 p. 237.
1909. LAUTERBORN, R. und WOLF, E. Cystenbildung bei *Canthocamptus microstaphylinus*. Zool. Anz. 34 p. 130.
1915. LAUTERBORN, R. Die sapropelische Lebewelt. Verh. d. Naturh. Mediz. Vereins. Heidelberg 13 p. 395.
1911. LIESKE, R. Beiträge zur Kenntnis d. Physiologie von *Spirophyllum ferrugineum* Ellis. Pringsheims Jahrb. 49.
1911. LINDHOLM, W. A. Über Mollusken aus dem Ladogasee und der Nevabucht. Extrait de l'Annuaire du Musée Zoologique de l'Académie Impériale des Sciences de St. Pétersbourg. 16.
1893. LOCARD, A. Les coquilles des eaux douces et saumâtres de France. Paris.
1853. MALM, A. W. Om Svenska Landt- och Sötvattens Mollusker, med särskilt afseende på de arter och former, som förekomma i grannskapet af Christiansstad (G) och Götheborg (G). — Götheborgs K. Vet. och Vitt. Samh. Handl. 3.
1912. MICOLETZKY, H. Beiträge zur Kenntnis der Ufer- und Grundfauna einiger Seen Salzburgs. Zool. Jahrb. Abth. Syst. Geogr. Biol. 33 p. 421.
1897. MIGULA, W. Die Characeen Deutschlands, Oesterreichs und d. Schweiz. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Leipzig.
1910. MOLISCH, H. Die Eisenbakterien. Jena.
1903. MOORE. The Tanganyika Problem. London.
1872. MORTENSEN, H. Nordvestsjællands Flora. Bot. Tidsskrift 2. Række 1 Kjøbenhavn.
1774. MÜLLER, O. F. Vermium terrestrium et fluviatilium historia 2.
1863. MÖRCH, O. A. L. Fortegnelse over de i Danmark forekommende Land- og Ferskvandsbløddyr. Vid. Meddel. fra d. naturh. For. i Kjøbenhavn.
1878. NYROP. Strandmøllen. København.
1916. NORREGAARD, E. M. Om Sømalmen og dens Anvendelse til Jærnfremstilling. Sten och Cement. Svensk Tidsskrift för praktisk Geologi. 13 p. 49.
1908. ODHNER, N. Die Mollusken der Lappländischen Hochgebirge. Naturwissenschaftliche Untersuchungen des Sarekgebirges in Schwedisch-Lappland 4 Zoologie. Stockholm.
1902. PASSARGE, S. Die Kalkschlammlagerungen in den Seen von Lychen Uckermark. Jahrb. d. Königl. Preuss. geolog. Landesanstalt 22 p. 79.
1911. PETERSEN, C. G. JOH. og BOYSEN-JENSEN, P. Havets Bonitering I. Beretning fra den danske biologiske Station. 20.
1913. PETERSEN, C. G. JOH. Havets Bonitering II. ibid. 21.
1916. PETERSEN, E. Vaarfluerne. Danmarks Fauna.
1821. 28. PFEIFFER, C. Naturgeschichte deutscher Land- und Süsswasser Mollusken. Abtheil. I—III. Weimar.
1912. PIAGET, P. Les récents dragages malacologiques de M. le prof. Émile Yung dans le lac Léman. Journal de Conchyliologie 50 Paris p. 205.
1913. —: Nouveaux dragages malacologiques de M. le Prof. Yung dans la fauna profonde du Léman. Zool. Anz. 42 p. 216.
1913. —: Les mollusques sublittoraux du Léman recueillis par M. le Prof. Yung ibid. p. 615.

1908. RAUNKJÆR, C. Livsformernes Statistik. Bot. Tidsskrift 29. København.
- 1835—1915. ROSSMÄSSLER, E. A. Iconographic der Land- & Süßwasser-Mollusken I—VII og N. F. I—XXI.
1912. ROSZKOWSKI, W. Notes sur les Limnées de la fauna profonde du lac Léman. Zool. Anz. 40 p. 375.
1914. —: Note sur l'appareil génital de *Limnea auricularia* L. et *Limnea ovata* Drap. Zool. Anz. 44 p. 175.
1914. —: Contribution à l'étude des Limnées du lac Léman. Revue Suisse de Zoologie 22 p. 457.
1907. ROUX, MARC LE. Recherches biologiques sur le lac d'Annecy. Annales de Biologie lacustre 2 p. 1.
1904. SAMTER, M. und WELTNER, W. Biologische Eigentümlichkeiten der *Mysis relicta*, *Pallasiella quadrispinosa* und *Pontoporeia affinis*. Zool. Anz. 27 p. 676.
1905. SAMTER, M. Der Madüsee. Archiv f. Naturges. 71 p. 1.
1886. SCHENCK, H. Die Biologie der Wassergewächse. Bonn.
1914. SCHERMER, E. Beiträge zur Fauna der Ratzeburger Seen. Archiv f. Hydrobiologie und Planktonkunde 9 p. 587.
- 1910—1911. SCHICKENDANTZ, G. Temperaturen und Sauerstoff im Sakrower See. ibid. 3 p. 84.
- 1896—1902. SCHROTER, C. und KIRCHNER, O. Die Vegetation der Bodensee. Bodensee-Forschungen. Theil. I. 1896. Theil. II. 1902.
1901. SELL, H. Beitrag zur Kenntniss der Molluskenfauna des Furesø's. Nachrichtenblatt d. deutschen malakozool. Gesellsch. 33 p. 97—110.
1910. SLUITER, P. Beiträge zur Kenntnis v. *Chara contraria* A. Braun und *Chara dissoluta* A. Braun. Bot. Zeitung.
1906. SOAR, C. D. Notes and Observations on the life-history of freshwater-mites. Journ. of the Quekett micr. Club. Ser. 2. 9 p. 359.
1838. SOWERBY, G. B. Comparison of *Cyrena*, *Valvata* and *Unio*, found at Grays, with recent Species. The Magazine of Natural History 2 N. S. London p. 547.
1905. STEUSLOFF, U. Torf und Wiesenalk-Ablagerungen im Rederang und Morsee-Becken. Dissert. Güstrow. Archiv d. Ver. d. Fr. d. Naturges. Mecklenburg 59.
1899. SUBBECK, G. Die Molluskenfauna des Vierwaldstättersees. Revue suisse de zoologie 6.
1880. SUTER-NAEF. Notizen über die Tiefsee-Molluskenfauna einiger schweizerischen Seen. Zool. Anz. 3.
1916. TEILING, E. Upplysningar til en Djupkarta över Store Glä. Sveriges geol. Undersökning Ser. C. No. 25.
1909. THIELE, J. Einige Bemerkungen über deutsche Süßwassermollusken und ihre Namen. Nachrichtenblatt d. deutschen Malak. Gesellsch. 41.
1913. THINEMANN, A. Der Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers und der Zusammensetzung der Tiefenfauna. Intern. Revue. Leipzig 6 p. 243.
- 1913—1915. —: Physicalische und chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel. Verh. d. Naturh. Vereins der preusz. Rheinlande und Westfalen. I. II. 70 p. 250. 71 p. 273.
1905. VOIGT, M. Die vertikale Verteilung des Planktons im grossen Plöner See und ihre Beziehungen zum Gasgehalt des Gewässers. Forschungsber. Plön. 12 p. 115.
1900. WALDVOGEL, F. Das Lauterkerried und der Lützelsee. Züricher Inaug. Dissert.
1895. WARMING, E. Plantefamfund. København.
1899. —: Botaniske Ekskursioner 3. Skarriðsø. Vid. Medd. fra Naturhistorisk Forening. København.
1909. —: Oecology of plants. Oxford.
1905. WELTNER, W. Ueber den Tiefenschlamm, das Seerz und über Kalksteinaushöhlungen im Madüsee. Archiv f. Naturg. 71 p. 277.
1900. WESENBERG-LUND, C. Von dem Abhängigkeitsverhältnis zwischen dem Bau der Planktonorganismen und dem spezifischen Gewicht des Süßwassers. Biol. Zentralbl. 20 p. 606.
1901. —: Studier over Søalk, Bønnemalm og Sogtje i danske Indsøer. Meddelelser fra Dansk geologisk Forening. 7. Kjøbenhavn.
1902. —: Sur l'existence d'une faune relicte dans le lac de Furesø. Bull. de l'Acad. Royale des sciences des lettres de Danemark p. 257.
- 1908—09. —: Die littoralen Tiergesellschaften unserer grösseren Seen. a) Die Tiergesellschaften des Brandungsufers. Internat. Revue. 1 p. 574 Leipzig.

1904. WESENBERG-LUND, C. Studier over de danske Søers Plankton. Spec. Del.
1911. —: Om nogle ejendommelige Temperaturforhold i de baltiske Søers Litoralregion og deres Betydning. Biologiske Arbejder tilegnede Eug. Warming. København.
1897. WESTERLUND, C. Synopsis molluscorum extramarinorum scandinavæ. Acta societatis pro Fauna et Flora Fennica. **13** Kuopio.
1916. WILHELMI, J. Plankton und Tripton. Archiv f. Hydrobiologie und Planktonkunde. **11** p. 113.
1899. WOLCOTT, R. H. On the North American species of the Genus *Atax*. Studies from the zoological laboratory. Nebraska. **30** p. 193.
1913. WOODWARD, B. B. Catalogue of the British Species of *Pisidium* (recent & fossil) in the collections of the British Museum (Natural History). London.
1900. ZSCHOKKE, F. Die Tierwelt der Hochgebirgsseen. Neue Denkschriften der allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesammten Naturwissenschaften. Vierte Dekade. **7** Zürich.
1911. —: Die Tiefseefauna der Seen Mitteleuropas. Leipzig.

Résumé du mémoire précédent:

## Études sur le lac de Furesö.

Recherches bathymétriques et zoologiques relatives aux lacs déversés par le Mølleaa.

Avec 7 cartes bathymétriques, 7 cartes de végétation, 8 planches  
et env. 50 figures inscrites dans le texte.

Par

C. WESENBERG-LUND.

Avec le concours de MM. M. J. SAND, J. BOYE-PETERSEN, C. M. STEENBERG  
et de Mme A. SEIDELIN RAUNKJER.

La rivière de Mølleaa est un cours d'eau peu considérable, de 25 km. à peine. Il prend sa source dans le lac de Bastrup, qu'il quitte à l'extrémité est; ayant parcouru une large vallée d'érosion il traverse le Farumsö et vient se jeter dans le Furesö; sous la forme de canal le cours d'eau est ensuite amené au Lyngbysö. La rivière qui allait d'abord de l'ouest à l'est, se dirige droit au nord en quittant le lac de Lyngby; à Örhölm elle forme encore un coude et, reprenant la direction est, le Mølleaa vient se jeter dans le Sund près des anciennes usines du Strandmølle. Les petits lacs de Sölleröd, de Vejlesö et de Bagsværd appartiennent au même terrain de déversement. C'est probablement par la voie du Mølleaa que la faune relicte de l'époque glaciaire a pu pénétrer autrefois dans le Furesö. De nos jours le cours d'eau a été exploité par l'industrie, et toute migration de faune montant de la mer vers les lacs est sans doute impossible.

Parmi les tâches qui se présentaient naturellement au Laboratoire de Biologie Lacustre, était celle de faire lever des cartes bathymétriques de nos lacs; de telles cartes faisaient jusqu'à présent presque complètement défaut. Le projet rencontra d'abord quelque résistance; on alléguait le peu d'importance pratique qu'auraient ces cartes, vu la petite étendue de notre pays et le nombre restreint des pêcheurs qui se nourrissent du produit des lacs. Pour mon compte, j'ai toujours été d'opinion que même le résultat scientifique serait peut-être trop maigre, si on se bornait à un sondage bathymétrique pur et simple, nos lacs étant si petits et relativement si profonds. On a essayé, mais sans succès, de faire adopter ces études par les Explorations Géologiques du Danemark. Enfin, en 1911, la fondation Carlsberg accorda la somme nécessaire, soit 1735 Kr. Le compte-rendu, p. 11, montre que dans les années 1911—13, avec les méthodes que nous avons suivies, et non compris les dépenses pour les appareils, 100 Kr. suffisaient pour explorer un km carré de lac et pour en lever le tracé; les dépenses étaient relativement plus grandes pour les lacs de petite étendue. Il était naturel de commencer par les lacs du Mølleaa, soit parce que le Furesö a déjà été l'objet de recherches biologiques, soit parce que ce lac est le plus profond de notre pays; il atteint environ 36 m. Le sondage bathymétrique qui devait être le but principal des explorations, a été combiné avec les recherches secondaires que voici:

1°. Il fallait dresser la carte de la flore lacustre; notre connaissance des zones sub-

mergées et des limites extérieures de la végétation a jusqu'ici été très restreinte. La constatation de l'étendue relative de la partie nue du fond et de celle couverte de plantes — de la partie où l'oxygène est produit et de celle où l'oxygène est consumé — cette constatation peut avoir une certaine importance pratique.

2°. La zone des coquilles de mollusques, mentionnée dans mon ouvrage de 1901, devait être étudiée de plus près; il fallait peser ma théorie alors émise que les mollusques de cette zone tendent à élever le fond, à former des récifs.

3°. Nous avons ressenti le manque d'un tableau complet de la faune malacologique d'un lac baltique. Il est vrai que, grâce aux recherches de A. C. JOHANSEN, nous connaissons assez bien les profondeurs qu'atteint chaque espèce particulière dans le Furesø; mais bien des détails restaient à approfondir, notamment quant aux Pisidies et leur extension bathymétrique. Il était donc désirable de dresser pour un des lacs un tel tableau, basé sur de bonnes illustrations.

4°. Il fallait étudier de plus près la sédimentation de limonite brune que j'ai constatée en 1901 dans le Furesø; je parvins alors à démontrer comment les coquilles de mollusques, particulièrement celles des *Valvata* et des moules, se transformaient peu à peu en limonite brune. Restait à rendre compte plus exactement de l'extension bathymétrique de ce minéral et des causes primaires du phénomène.

5°. La faune qui habite le fond des lacs baltiques de profondeur moyenne, en avant de la région littorale, est très peu connue. Notre littérature ne possède pas d'étude complète pareille à celles qu'a accomplies ZSCHOKKE pour le Lac des Quatre Cantons et EKMAN pour le Vättern. Ayant publié, en 1908, un mémoire sur la faune vivant dans la zone où se brisent les vagues, faune constatée depuis aussi par d'autres explorateurs, j'étais depuis longtemps convaincu qu'au-dessus de la végétation submergée de nos lacs les plus considérables il existait une faune particulière, jusqu'à présent peu étudiée. La faune de la région profonde était également peu connue. Une comparaison avec la faune des lacs suisses était toute naturelle, et les Vätternstudien d'EKMAN étant publiées vers l'époque où se terminaient nos travaux, les résultats obtenus par ce savant furent comparés aux nôtres.

Je me rendais tout d'abord compte de la valeur qu'aurait une analyse chimique bactériologique, surtout pour nous éclaircir sur les sédiments déposés dans la région profonde et sur la genèse de la limonite brune. Mais comme ces analyses doivent à mon avis être faites régulièrement tous les quinze jours, il était impossible de les combiner avec les études publiées ici. Il aurait en outre fallu avoir à sa disposition un assez grand laboratoire situé sur le bord du lac. Nous avons donc dû remettre à plus tard cette analyse dont le manque s'est souvent fait sentir au cours de nos travaux.

Une étude géologique sur la formation du bassin lacustre entier aurait également été désirable, mais il a fallu y renoncer, surtout parce que les descriptions et les cartes publiées par les soins des Explorations Géologiques du Danemark, n'ont pas du tout traité sous le point de vue de la géologie glaciaire les terrains en question.

Les explorations dont nous présentons ici les résultats se sont continuées pendant les années de 1911—1916.

Le colonel M. J. SAND, chef du département topographique de l'État Major, a sur ma demande proposé la méthode à suivre dans les études bathymétriques, ainsi que toutes les méthodes mises en usage pour les déterminations de lieux. Le colonel, dans un chapitre suivant, a rendu compte de ses procédés.

M. BOYE-PETERSEN, en sa qualité de botaniste, a dressé la liste des plantes pour tous les lacs, et il a tracé les cartes des végétations. Quant au Furesø, Mme SEIDELIN-RAUNKJÆR en a spécialement étudié les végétations submergées, en approfondissant surtout ses recherches concernant la flore des Characées. M. SREENBERG a pesé mes théories sur le banc de mollusques; il a donné une description de la faune malacologique dans le Furesø, ornée d'un grand nombre de photographies, et il a contrôlé avec soin la distribution bathymétrique de cette faune. Moi-même j'ai étudié, au cours de nombreuses excursions, la faune du fond de ce lac.

Quant aux opérateurs qui prenaient part aux explorations principales, nous nous sommes



arrangés de la manière suivante: sur terre, deux guides experts de l'État-major, assistés de deux militaires qui étaient chargés de signaler à l'aide de drapeaux; sur le lac, B.-P. et moi, le plus souvent chacun dans son bateau et aidés chacun de son rameur. La veille des excursions en bateau, les guides et leurs assistants étaient venus choisir les postes d'observation qu'ils marquaient de drapeaux rouges et blancs. On me donnait ensuite des cartes indiquant les parties du lac qu'il était possible de sonder avec la position donnée des stations.

Les coups de sonde étaient généralement faits par moi, et je suis responsable des indications de profondeur données. Le nombre des coups de sonde variait selon la forme du plancher du lac; où il présentait de grandes inégalités je les répétais plus souvent que dans les plaines égales. Selon moi, le résultat le plus solide d'un travail bathymétrique est obtenu en combinant le principe des sondages à intervalles réguliers avec un jugement plus subjectif sur la nécessité de fréquentes opérations. Il s'agit de s'avancer à tâtons, pour ainsi dire, en promenant le plomb de sonde sur le plancher du lac.

Pendant que j'étais occupé du sondage, B.-P. dans son bateau poursuivait ses études botaniques. Voici la méthode qu'il employait. Le long du rivage il faisait planter des petits drapeaux, à distances égales ou dans les endroits où des conditions spéciales recommandaient cette mesure; en se servant des drapeaux pour déterminer la direction, il tirait un fil d'acier de 100 m. en angle droit sur la rive. Il était en outre pourvu de longues perches divisées par mètres, à l'aide desquelles il mesurait la profondeur à tous les 5 mètres de distance. De même il notait à quelle profondeur cessaient les végétations de *Phragmites*, de *Scirpus* et de *Potamogeton*. Au bout de la perche était fixée une zondelle qui ramenait les plantes submergées. Lorsque B.-P. avait fini la besogne de sa journée, il avait donc laissé le long de la rive un rang de petits drapeaux entre les drapeaux des stations principales plantés par les guides. Le lendemain les points marqués par ces petits drapeaux étaient déterminés par les guides qui pouvaient ensuite les retirer. Nous obtenions ainsi une série de mesures très exactes, soit des angles d'inclinaison de la région littorale, soit des zones végétales de cette région.

Dans les endroits où la végétation s'étendait à plus de 100 m. de la rive et où elle consistait en des fouillis impénétrables de *Scirpus* et de *Phragmites*, je longeais dans le bateau à moteur le bord extérieur de ces champs de roseaux et j'en marquais une série de points, que les guides déterminaient immédiatement à l'aide de la visée à stadia.

L'emploi du fil de 100 m. simplifiait beaucoup notre travail. Les profondeurs des petites anses étaient mesurées uniquement de cette manière, et nous avons pu éviter de trop nombreux déplacements des postes d'observations sur terre. La méthode principale que nous avons employée, celle des visées croisées, offre le grand avantage qu'on peut multiplier, sur une superficie donnée, le nombre des coups de sonde, sans grands sacrifices de temps ni de dépenses. Pourtant cette méthode, comme toutes les autres, a ses limites: avec le système de signaux choisis, on ne peut pas l'employer si la distance entre le poste d'observation et le bateau dépasse 2 à 3 km. — les disques qui servaient de mire sur le bateau avaient  $\frac{3}{4}$  m. de diamètre, et on ne pouvait guère en avoir de plus grands. — Quand il s'agit des très petits lacs ce procédé doit en général être trop coûteux. Enfin, il est nécessaire, ou du moins préférable, de terminer le sondage d'une certaine superficie de lac avant d'établir de nouvelles stations. Et ici on rencontre la difficulté que vers la limite de deux sections le lever du sondage est à peine assez exacte, les angles d'intersection devenant trop obtus ou trop aigus. Le nombre des sondages pris est très grand (voir p. 12). Les autres études (faites pour la plupart dans les années 1913—1916) s'occupent principalement du Furesö.

## Chapitre I. Détermination des lieux.

Par le Colonel M. J. SAND.

Dans un travail de sondage bathymétrique, la détermination précise du lieu sondé est presque aussi importante que l'indication exacte de la profondeur du point en question. Pour l'arpentage des lacs plusieurs méthodes ont été suivies. Si le lac est couvert de glace on peut

appliquer une des méthodes généralement employées par le géomètre; mais ce procédé rencontre des difficultés spéciales dans notre climat, les lacs d'une étendue un peu considérable étant rarement gelés pendant une période assez longue. Généralement on dirige un bateau sur des lignes droites, parallèles autant que possible, et dont la direction est déterminée d'avance par des marques sur terre. La position du bateau sur la ligne est reconnue en comptant les coups de rames, en laissant dérouler un fil pendant la course, ou d'autres manières encore. Ce procédé n'amène pourtant pas à un haut degré de précision; en outre il demande pas mal de préparatifs, le résultat dépend beaucoup de la routine des rameurs et on est tenu de donner les coups de sonde régulièrement, sans pouvoir les multiplier à volonté, dans les localités où ils sont le plus désirables.

Dans le travail dont il est question ici, nous avons eu l'avantage de pouvoir nous appuyer sur les cartes de l'État Major, lesquelles montrent les contours exacts des lacs. Le département topographique s'est chargé des déterminations de lieux. Pour ce travail on s'est servi de la planchette ordinaire, prenant sur deux stations différentes établies sur la rive, des visées vers le bateau chaque fois qu'un coup de sonde était donné.

Les cartes à l'échelle de 1: 20000 furent agrandies par voie photographique — celles relatives au Furesö jusqu'à l'échelle de 1: 10000 et celles relatives aux plus petits lacs à 1.5000. L'agrandissement comprenait non seulement le littoral, mais aussi une zone convenable du pays environnant. Une reconnaissance spéciale du terrain fit désigner les points les plus favorables pour l'établissement de la planchette. Il fallait de ces points avoir la vue libre sur une certaine partie du lac et sur quelques points élevés du voisinage qui pourraient servir à l'orientation de la planchette; encore fallait-il être à même de déterminer avec une précision absolue la place sur la carte de ces points que nous appelons les stations. Nous avons en outre examiné quelles parties du lac pouvaient être mesurées de chaque couple de stations correspondantes, pour obtenir les meilleurs angles de section entre les visées prises sur les stations vers les points où la sonde était jetée; et dans ce but nous avons construit les lignes de délimitation entre lesquelles les angles de section variaient de 60° à 120°.

Comme il s'agissait de déterminer sur le lac des points qui n'étaient marqués qu'au moment où le bateau y était arrêté, il fallait employer 2 observateurs sur terre. On avait mis à nos ordres pour ce travail deux guides experts de l'état-major. Ayant la carte agrandie étendue sur la planchette chacun de ces observateurs se plaçait dans sa station et orientait sa planchette de sorte que les lignes de la carte fussent exactement parallèles aux lignes correspondantes du terrain. Le bateau arrêté sur le lac et l'opérateur y faisant un sondage, on le visait simultanément des deux stations, marquait la direction observée par un point sur la planchette, et la ligne voulue pouvait être tracée de ce point au point représentant la station. Le sondage fini sur l'espace qu'on pouvait contrôler de ces premières stations, un des observateurs — éventuellement tous les deux — se rendait à une nouvelle station. Comme il s'agissait d'un grand nombre de sondages il fallait convenir d'avance de certains procédés pour travailler avec sûreté et éviter les erreurs. Tous les coups de sonde étaient numérotés, et les numéros étaient immédiatement ajoutés soit à la liste des profondeurs notées, soit aux marques correspondantes sur la planchette. Pour surcroît de sûreté on échangeait un signal convenu entre le bateau et les deux stations, toutes les fois qu'on notait un chiffre se terminant en zéro. Dès que l'opérateur dans une station était prêt à prendre sa visée, il arborait un drapeau qu'il descendait aussitôt l'opération faite; pourtant il n'était libre de prendre la visée que si le bateau dressait un signal qui restait levé pendant le sondage, ou jusqu'à ce que les drapeaux des deux stations fussent descendus. De cette manière le travail procédait avec une sûreté absolue.

Sur chaque planchette on ne marquait donc que les directions observées dans une seule station. La journée finie, chaque observateur prenait un calque des lignes tracées sur sa planchette et le faisait passer à son collègue, après quoi tous les deux pouvaient lever le plan des sondages faits, et l'on obtenait un contrôle très effectif de la justesse du dessin construit sur la planchette.

Les opérations sur terre prennent très peu de temps, de sorte qu'il est facile de suivre

le sondage, même si l'opérateur dans le bateau travaille très vite. Cette méthode de détermination est donc particulièrement avantageuse quand il s'agit de faire de nombreux coups de sonde dans une eau de faible profondeur.

## Chapitre II.

Par C. WESENBERG-LUND.

A la page 18 nous avons donné une courte description des lacs explorés avec indication de leur étendue et de leur hauteur au-dessus de la mer. Ici il suffit de faire remarquer qu'à une certaine époque le Furesø a été considérablement plus grand; plus tard le niveau de l'eau paraît avoir baissé; à présent les eaux sont artificiellement élevées. La large zone pierreuse qui s'étend tout autour du lac, est sans doute formée par l'érosion des vagues sur les coteaux de la rive; aujourd'hui les vagues n'érodent nulle part sur les pentes du bord. Les tempêtes remuent le sable de sorte que la zone pierreuse en est çà et là recouverte.

Le sable peut de même être entassé en barres qui ferment les anses, retiennent la végétation pourrissante qui serait autrement enlevée par les vagues, et contribuent ainsi à régulariser la ligne côtière. Plusieurs barres de sable peuvent se former l'une derrière l'autre, chacune des tempêtes printanières y ajoutant une nouvelle. En automne surtout, le détritus s'amasse sur la rive en monticules de  $\frac{3}{4}$  m. de hauteur, dont la paroi extérieure, sous le choc des glaçons pendant la débâcle, peut se dresser en pente assez raide.

Au commencement du printemps le sable se couvre d'une couche visqueuse verdâtre, consistant de globules de Rivulariacées en état de décomposition, tenues ensemble par le mucilage de l'infusoire *Ophrydium versatile*. Les R. contiennent du calcaire et des diatomées. La couche entière se dissolvant par la putréfaction, le calcaire et les diatomées restent sous la forme d'une poussière légère qui est enlevée par les vagues et leur donne dans la région littorale une couleur blanchâtre ou grisâtre. Dans de très fortes tempêtes la masse entière des eaux peut prendre cette couleur. Sur la quantité de calcaire que contient l'eau dans les différentes saisons, et sur la genèse de ce minéral voir nos ouvrages antérieurs. (W.-L. 1900 BRØNSTED et W.-L. 1912).

Quant aux questions bathymétriques nous renvoyons à la carte. Nous faisons observer que le grand golfe appelé Store Kalven, qui comprend  $\frac{1}{5}$  environ du lac entier, a une très faible profondeur, vers 4 m. Au milieu du lac, deux bancs immergés se dressent d'une profondeur d'environ 25 m. jusqu'à 4 m. au-dessous de la surface.

**La zone des coquilles.** En 1900, j'ai constaté que la plus grande majorité des coquilles de mollusques du Furesø se trouvent amassées dans une bande située à 10—15 m. J'étais alors d'opinion que cet amas était essentiellement formé par les mollusques vivant sur le lieu même; il se compose surtout des coquilles de *Valvata*, d'*Unio* et d'*Anodonta*. Du côté de la rive, la limite de cette zone est déterminée par le fait que les coquilles qui s'amoncellent plus près de la côte se pulvérisent et se dissolvent sous le choc des vagues et grâce à certains agents chimiques (acides provenant des racines des plantes); la limite extérieure est donnée par le fait que les mollusques vivantes ne dépassent pas les profondeurs en question.

Nous avons démontré que dans le Furesø, ainsi que dans d'autres lacs, une série de monticules s'étendent le long de la côte, s'élevant dans ou près de la bande de mollusques; ces monticules, formés également de coquilles, sont couverts de végétation. Je les ai regardés comme formés par l'entassement des coquilles de mollusques, qui, suivant cette théorie, auraient dans nos lacs quelque importance pour la formation de récifs. A. C. JOHANSEN a pensé que la zone entière était créée principalement par des coquilles emmenées par les vagues et les courants, et il fait observer que les moules et *Valvata* ne vivent pas aussi loin de la côte, et que bon nombre de coquilles se rencontrent encore plus en avant. Au cours des récentes explorations l'emplacement de la bande des coquilles a été déterminé plus exactement et marqué sur la carte. STEENBERG a en outre démontré que *Valvata piscinalis* descend jusqu'au bord extérieur de la zone des mollusques, tandis que *Anodonta* et *Unio* s'étendent moins loin.

Pour ma part je maintiens ma manière de concevoir l'origine de la bande de mollusques, en faisant observer que si les dépôts de coquilles se trouvent à une plus grande distance de la rive que celle où vivent maintenant les moules, ce fait est dû, je le pense, à deux causes. 1° Le niveau de l'eau est plus élevé aujourd'hui qu'il ne l'était autrefois; les moules pouvaient vivre alors sur la même profondeur et plus loin de la rive. 2° La limpidité de l'eau diminue d'année en année, ce qui influe sur la limite extérieure de la végétation et par là aussi sur celle de la faune mollusquaire.

La théorie me paraît peu vraisemblable qui voit dans le dépôt de coquilles des matériaux entassés par le mouvement des eaux; d'abord les mollusques appartenant à la région littorale proprement dite s'y trouvent en très petit nombre, en outre nous ne connaissons pas de courants profonds qui pourraient retirer les coquilles, et enfin ces dépôts, par leur consistance crayeuse, témoignent d'un grand âge. Des coquilles de mollusques sont reconnaissables encore aujourd'hui dans les plus anciennes couches de l'époque post-glaciaire; celles déposées dans la bande de coquilles du Furesö datent d'après mon opinion de plusieurs siècles. Au printemps seulement les mouvements combinés des vagues et des glaçons peuvent soulever les coquilles et les déposer sur les grèves de sable, d'où les vagues les retireront de nouveau. (Pour plus de détails voir p. 27 et STEENBERG p. 110).

**Bancs de pierres.** A certains endroits des récifs ou dépôts de pierres s'étendent le long de la côte; ils ont eu autrefois des dimensions beaucoup plus considérables: on les a utilisés en y pêchant des pierres pour des travaux de construction. On ne saurait décider si ce sont des érosions faites sur d'anciennes lignes côtières ou des dépôts datant de l'époque glaciaire.

En 1900 déjà nous avons constaté dans le Furesö l'existence du mineral appelé limonite pisolithe. Maintenant nous avons reconnu que la formation de ce mineral se borne à une certaine zone qui a son maximum à 15 m. de profondeur et qui n'existe pas au-dessus de 7 ni au-dessous de 20 m. La limonite pisolithe abonde dans la partie sud du lac; en général elle se présente en taches espacées et elle communique au sol une forte couleur rouge. Le rôle que joue dans cette formation les coquilles de mollusques, surtout les *Valvata*, s'est clairement manifesté au cours de nos recherches. Les *Valvata* vivantes de cette zone ont déjà la spire couverte de limonite, et l'on trouve partout toutes les formes de transition, depuis les coquilles vides légèrement encroûtées jusqu'aux boulettes méconnaissables. Cette année nous avons en outre constaté que les grains de sable même sont incrustés de fer, et qu'un sédiment de fer en poudre fine se trouve dans le sol du lac. Beaucoup des petits grains, lorsqu'on les faisait bouillir avec de l'acide chlorhydrique, découvrait un petit noyau noir. Le même phénomène a été constaté pour le Madùsee par Weltner qui a reconnu dans ce noyau des coquilles de diatomées, des fragments de chitine, etc. Les sédiments de limonite brune du Furesö se forment sans doute dans le lac même et surtout dans la zone où ils se trouvent maintenant. Les boules les plus grosses se trouvent dans les endroits où les *Valvata* vivent encore et où les coquilles en sont déposées sur le fond; les plus petites, de la grosseur d'une tête d'épingle, sur la limite extérieure de la zone. Il résulte de mes recherches, ainsi que de celles de WELTNER et d'autres naturalistes, que la limonite pisolithe se rencontre dans certains lacs, toujours en forme de zone, dans quelques cas par 10 à 20 mètres, dans d'autres par 20 à 30 mètres de profondeur. Une des causes de cette apparition limitée est évidemment que les particules d'une certaine grosseur sur lesquelles le fer s'incruste, telles que fragments de coquilles, grains de sable, n'existent pas en grand nombre au dessous de 20 m., du moins dans les lacs danois. Le phénomène ne se laisse pourtant pas pleinement expliquer par cette voie. Les *Pisidies* qui vivent dans le Furesö par 20–35 m. ne sont jamais incrustées de fer, tandis qu'elles le sont souvent dans la bande de coquilles. Les quelques grains de sable qu'on trouve au delà de 20 à 25 m. ne le sont pas non plus. On a supposé que le phénomène était dû à l'action de sources ferrugineuses, mais pourquoi ces sources s'ouvriraient-elles toujours dans ces zones déterminées? Deux explications possibles semblent se présenter: ou cette zone de 7 à 20 m. contient des organismes qui obtiennent ici leur optimum, et dont les processus biologiques favorisent le dégagement du fer, ou bien celui-ci est le résultat de certaines conditions chimiques propres à cette zone. La première possibilité



ne saurait être rejetée tant qu'une étude bactériologique des sédiments de limonite n'a pas été faite. Une analyse méthodiquement répétée tous les quinze jours serait du plus grand intérêt pour constater si les zones de végétation ne sont pas limitées du côté du lac par une zone de bactéries de fer dans les gaines desquelles le fer se dégagerait. Quant à la seconde hypothèse, nous sommes en effet à même de constater dans la zone en question des conditions chimiques spéciales, différentes de celles qui existent sur de plus grandes profondeurs, et ces conditions suffisent, je le présume, à expliquer pourquoi les sédiments de limonite brune paraissent partout limités à une certaine zone du fond.

BIRGE et JUDAY dans leur ouvrage principal (1911, p. 107) donnent l'exposé suivant: If any insoluble oxide of iron be present in the bottom ooze, it may be reduced to a lower insoluble oxide in the absence of dissolved oxygen and pass into solution, thus increasing the quantity of iron held in solution by the bottom water. Bottom waters, which contain a considerable amount of iron, soon become cloudy, when exposed to the air, as the water absorbs oxygen, and the iron is changed to a higher oxide, which is precipitated. At the time of the vernal and autumnal overturn the bottom water is aerated, and the ferrous iron in solution is oxidized to ferrio, which forms a precipitate and sinks to the bottom, only to be reduced again and pass into solution, when the dissolved oxygen disappears from the bottom water.

Or il résulte des analyses chimiques de BRÖNSTED (Br. et W.-L. 1912 p. 440) que pendant la stagnation des eaux en été, la quantité d'oxygène tombe à moins de 1% dans les grandes profondeurs (33 m.), tandis que par 15 à 20 m. la quantité d'oxygène reste, pendant toute la saison estivale, la même qu'à la surface, en général elle ne baisse que de  $\frac{1}{10}$  % à peine.

Si donc la limonite apparaît toujours en zone, et principalement entre 7 et 20 m. de prof., en voici la raison:

Pendant la période de stagnation la pauvreté d'oxygène dans les couches d'eau les plus profondes fait que les combinaisons de ferri peuvent se réduire en combinaisons de ferro, qui se dissolvent et augmentent la quantité de fer que contiennent ces couches d'eau, tandis que des sédiments de fer ne se déposent pas en permanence sur le fond. Autrement par les moindres profondeurs: la quantité d'oxygène restant pendant toute l'année à peu près la même qu'à la surface, aucune réduction n'a lieu, et le fer dégage s'entasse sans interruption au cours des années. En 1900, j'ai tâché de rendre compte de l'origine des matières organiques et inorganiques déposées sur les parties les plus profondes du plancher du Furesö, du rôle que jouent les matières organiques comme nourriture de la faune profonde et des résultats du processus excrémental que subissent les matériaux déposés. J'ai constaté alors que la quantité des matières organiques diminue, que le sol, devenant plus argileux, prend une couleur plus claire. Ici encore des analyses bactériologiques régulières auraient dû compléter mes études, mais comme je l'ai déjà dit, il a fallu les ajourner.

Voici ce que je puis aujourd'hui ajouter aux recherches publiées alors: Quand le sol d'un lac est extrêmement mou comme c'est le cas pour le Furesö, un dragage ordinaire ne donnerait aucun renseignement sur la surface du fond. Je n'en ai pu reconnaître la nature qu'en me servant de la drague C. G. Joh. Petersen, qui dépose intacte sur le tamis la couche superficielle du fond. Au delà de 20 à 25 m. le fond est partout, à ce que nous savons, couvert d'une couche uniforme de vase brune, épaisse de  $\frac{1}{2}$  cm. et superposée à une couche grise ou noirâtre, çà et là jaunâtre et alors puante. Dans cette couche brune supérieure j'ai cherché le «feutre organique» de Fabre que cet auteur dit avoir trouvé dans le Lac Léman et qui consiste, selon lui, de Palmellacées, de Crocococcacées, de diatomées tenues ensemble par les Oscillaires en une sorte de tissu. Ce «feutre organique» n'est pas, que je sache, constaté ailleurs, mais des espèces appartenant aux susdits groupes végétaux ont été trouvées sur de grandes profondeurs (SCHNÖTER & KIRCHNER, LE ROUX et d'autres). Les échantillons du sol pris dans le Furesö n'en montrent aucune trace immédiatement après la pêche; seulement si on les laisse pendant des mois dans un aquarium, la surface se couvre d'un feutre, dont les éléments principaux sont de longues Cyanophycées incolores et des bactéries. A l'état frais, la surface de la vase brune consiste en granules floconneuses à bords dentelés. Les particules d'argile ne se trouvaient pas en grand nombre; c'est probablement au printemps que la vase

en est mêlée. Il y avait très peu de sable, mais une grande quantité de particules brunes floconneuses, sans doute du fer oxydé hydraté. Les granules floconneuses que j'ai nommées sont principalement le contenu cellulaire des organismes dépérissants du plankton, organismes que le filet à fermeture nous a montrés suspendus dans les couches d'eau profondes, mêlés de nombreux fragments d'organismes morts, de contenu cellulaire, de carapaces de *Ceratum hirundinella*, de chromatophores, de peaux de chitine, surtout de Bosmines, tandis que les Hyalodaphnies font défaut ici comme partout, fait assez remarquable, vu que cette espèce forme dans la saison estivale la plus grande masse du plankton lacustre. Dans les échantillons fraîchement pêchés on ne voit pas de bactéries filamenteuses, ni d'oscillaires; de diatomées on trouve les espèces qui habitent la région littorale, mais seulement des exemplaires morts ou mourants; un petit nombre de Chlorophycées, surtout de *Pediastrum*, mortes elles aussi. Très peu d'infusoires et de Rhizopodes.

Je n'ai pas trouvé de «feutre organique»; je ne saurais nier la possibilité qu'il ait pu être lavé par l'eau pendant qu'on retirait la drague; mais je suis peu incliné à le croire. C'est cette couche supérieure, de vase brune riche en matières organiques, qui sert à nourrir la faune profonde dont nous allons parler plus loin; sur ce point mes observations concordent complètement avec l'ouvrage important que C. G. J. PETERSEN a publié sur le rôle que joue le détritus pour le nourrissement de la faune profonde marine. Les résultats des fonctions vitales de cette faune, les excréments, se trouvent un peu plus bas, dans la couche au-dessous de la surface brune.

Au delà de 20 m. le sol devient plus mêlé de sable et plus riche en particules de fer. On ne trouve nulle part du sable déposé sur le limon dans des profondeurs considérables, comme EKMEN en a trouvé dans le Vättern; ni, cela va sans dire, la surface solide de l'argile appelée glaciaire.

### Chapitre III. Remarques sur les cartes des végétations pour les lacs de Bastrup, Farum, Bagsværd et Lyngby.

Par J. BOYE-PETERSEN.

(Cartes IB—VIB.)

Dans nos études nous ne nous sommes occupés que des plantes qui habitent le bassin même des lacs, c'est-à-dire les plantes aquatiques proprement dites et les espèces appartenant aux champs de roseaux.

Pour la détermination des lieux quatre méthodes ont été employées.

1) La mesure à l'aide d'un fil de 100 m. Une corde d'acier, graduée en mètres, fut fixée sur un point de la rive dont la situation était connue; on pouvait alors mesurer directement la largeur des zones végétales et donner des coups de sonde à des distances voulues de la rive. La direction du profil étudié fut déterminée avec une précision suffisante. Les points de départ furent choisis à 100 ou 300 m. de distance, et on faisait toujours des notices sur les végétations intermédiaires.

2) La mesure au sextant ne fut guère employée que sur le lac de Bagsværd, pour établir l'emplacement des groupes de Potamogeton. Pour l'établissement de chaque point, on a mesuré les angles que formaient entre elles les visées prises vers 3 ou 4 points fixés d'avance. A l'aide d'un transporteur on pouvait plus tard marquer sur la carte le point examiné.

3) Visées croisées prises sur terre; même méthode que pour le mesurage bathymétrique.

4) Mesurage à stadia. Exécutée par un opérateur, établi sur le rivage avec une planchette et muni d'une alidade à lunette.

Dans le bateau on dresse une longue perche graduée (la «stadia»). L'opérateur sur terre compte les divisions visibles entre deux fils horizontaux du réticule de la lunette, et il peut ainsi mesurer la distance entre la planchette et le bateau, dont il peut immédiatement marquer la situation sur sa carte.

En nous servant des points fixes obtenus par ces moyens, et suppléés d'observations



prises sur place, nous avons tracé les cartes des végétations. L'habitat de chaque espèce est indiqué par une signature spéciale; les espèces rares sont toutefois omises.

#### Les sociétés de plantes.

Dans un lac, les sociétés végétales se groupent généralement le long du rivage en zones plus ou moins distinctes. La formation de zones tient évidemment à ce fait que plusieurs facteurs d'importance pour la prospérité des plantes changent graduellement avec l'éloignement du rivage. De tels facteurs sont la profondeur de l'eau, la lumière, la température, le caractère du fond, le mouvement des vagues, et la glace. La profondeur de l'eau pose une limite directe à l'extension de certaines plantes, celles surtout qui veulent élever leurs fleurs ou leurs feuilles au-dessus de la surface, tandis que les conditions de lumière importent le plus pour les végétaux submergés. La variation de la température, le mouvement des vagues et la glace influent surtout sur la végétation du rivage, et causent les différences qui caractérisent les rives nord et sud, les côtes abritées et exposées.

Les sociétés de plantes qu'il faut prendre en considération sont principalement (comp. WARMING 1895).

1. Les champs de roseaux,
2. La société des Linnées,
3. — - Néréides,
4. — - Hydrocharites.

Les espèces les plus répandues dans les champs de roseaux sont:

*Phragmites communis* Trin., *Scirpus lacuster* L., *Typha angustifolia* L. La limite extérieure de cette zone se trouve par  $1\frac{1}{2}$  à 2 m. de profondeur.

*Phragmites* pousse soit sur la terre ferme, soit dans l'eau jusqu'à 2 m. de prof., tandis que *Typha* ne prospère que par  $1\frac{1}{2}$  à 2 m. d'eau. *Phragmites* semble préférer un sol solide, les deux autres espèces préfèrent un fond mou. *Typha* supporte mal le choc des vagues, tandis que *Phragmites* et *Scirpus* en souffrent moins.

La société des Linnées se rencontre soit comme un élément subordonné parmi les espèces des champs de roseaux, soit comme une zone plus ou moins large en avant de la zone roselière, par 2 à 7 m. de prof. On peut la subdiviser en 3 associations.

- 1) Les Nymphéacées,
- 2) Les Potamogetonacées,
- 3) Les Linnées complètement submergées.

L'association des Nymphéacées comprend des plantes enracinées à feuilles nageantes: les fleurs s'élèvent sur une tige au-dessus de la surface d'eau. Dans ce groupe il faut signaler: *Nymphaea alba* L., *Nuphar luteum* (L.) Sm., *Potamogeton natans* L., *Polygonum amphibium* L. — La limite extérieure de cette zone est à  $2-2\frac{1}{2}$  m. Les Nymphéacées ne supportent pas bien les vagues, c'est pourquoi elles fleurissent surtout dans les anses tranquilles. *Nymphaea* se trouve en général par  $1-2\frac{1}{2}$  m. d'eau, tandis que les autres espèces croissent aussi par de plus faibles profondeurs.

Les Potamogetonacées comprennent un nombre d'espèces, surtout de *Potamogeton*, qui sont enracinées, mais sans feuilles nageantes, et qui élèvent seulement une tige florifère au-dessus de la surface. Ces espèces supportent une plus grande profondeur que les Nymphéacées. Voir à la p. 44 la liste des espèces avec leur profondeur maximum. La plupart peuvent descendre jusqu'à 7 m., mais ce n'est en effet que *Batrachium circinnatum*, *Potamogeton pectinatus* et *P. perfoliatus* qui se développent bien à des profondeurs considérables.

L'association des Linnées complètement submergées est celle qui s'étend le plus loin de la rive. Elle comprend des espèces enracinées, et qui ne s'élèvent jamais à la surface. Cette association est particulièrement bien représentée dans le Furesö, elle sera mentionnée plus spécialement à propos de ce lac. Dans quelques-uns des autres lacs elle fait complètement défaut. Les espèces qui y appartiennent sont *Elodea canadensis*, les Characées et les

Mousses. La société des Néréides, plantes aquatiques litophiles, comprend surtout des algues, auxquelles nous n'avons pas pu étendre les recherches présentes.

Nous devons à W.-L. les renseignements suivants:

«Chaque été les pierres dans le Furesö se couvrent de nombreuses globules de rivulariacées, ainsi que de l'algue brune *Pleurocladia lacustris*. Par suite de la richesse en calcaire de ces globules, les pierres prennent une couleur gris-blanc. Les algues descendent jusqu'à 1–2 m. En novembre, les pierres changent de couleur jusque par  $\frac{3}{4}$  m. Elles deviennent vert-noir, se couvrant d'une croûte épaisse de diatomées (*Pinnularia*, *Navicula*, *Tabellaria*); celles-ci apparaissent aussi sur *Scirpus* et *Phragmites*. En été, quand la nappe d'eau baisse, on aperçoit sur ces plantes une raie blanche, formée d'écorces de diatomées mortes. — En hiver, la friction de la glace détache les diatomées, et le limon de diatomées-rivulariacées nommé ci-dessus, se forme alors. Sous les premières glaces de l'hiver les diatomées assimilent l'azote; l'oxygène se dégageant les bulles d'air montent verticalement et marquent les contours de chaque pierre, les bulles d'air restant enfermées dans la glace. Au printemps, immédiatement après la débâcle, d'énormes quantités de chaînes de *Tabellaria* apparaissent dans le plankton; c'est justement cette forme de colonies qui couvraient les pierres avant que le lac était pris par la glace. Dans le Furesö comme ailleurs la forme des colonies change; les chaînes de *Tabellaria* deviennent des étoiles, et puis le maximum cesse. D'année en année j'ai observé le même phénomène: au mois de décembre–janvier des chaînes de *Tabellaria* sur les pierres, en avril des chaînes flottantes dans le plankton; en mai–juin des étoiles flottantes. Je suppose qu'après le dégel de chaque année le mouvement des vagues apporte dans la région pélagique des chaînes de *Tabellaria* détachées, que celles-ci en s'adaptant aux nouvelles conditions de milieu changent la forme de leurs colonies de chaînes en étoiles, qu'elles se maintiennent quelque temps suspendues, et qu'elles retombent ensuite aux couches d'eau inférieures où elles se dissolvent; on n'en trouve presque pas dans le sol du lac.»

La société des Hydrocharites comprend des espèces qui ne sont pas enracinées et qui sont pour cela sujettes à être entraînées par les vagues et les courants d'eau. Quelques-unes ont des feuilles nageantes, d'autres sont complètement submergées. Voir la liste des espèces à la p. 45. Dans nos lacs les Hydrocharites ne forment presque jamais des groupes de végétations uniformes, elles se présentent mêlées aux Linnées. La plupart des espèces submergées apparaissent dans deux conditions essentiellement différentes, soit près de la côte, dans des endroits abrités, soit dans des eaux assez profondes. Les espèces munies de feuilles nageantes ne se présentent que dans des localités du premier genre.

#### *Le lac de Bagsværd.*

Carte V B.

Le mesurage fut exécuté à deux époques: au mois de juin 1911 on leva le plan de toute la région littorale, à l'aide du fil de 100 m. On tira les cordes à 100–200 m. de distance. Au mois de juin 1912, les groupes de *Polamogeton* furent spécialement mesurés à l'aide du sextant. Cette seconde opération était nécessaire surtout par rapport à *Polamogeton crispus*, qui n'atteint la surface que dans les premiers jours de l'été. Le lac, qui s'étend dans la direction O.N.O., a sa plus grande largeur vers l'est et se rétrécit vers l'ouest. Les vents d'ouest qui prévalent pendant l'été produisent donc un mouvement assez fort dans l'eau. Profondeur maximum  $4\frac{1}{2}$  m. Le fond est généralement solide le long du rivage; vers le milieu du lac il est vaseux. Des tourbières ne se trouvent qu'à l'extrémité ouest. La liste I p. 49 nomme les plantes principales. La liste II comprend quelques plantes palustres habitant les champs de roseaux. La liste III nomme des plantes aquatiques qui n'apparaissent que très rarement.

La zone des roseaux s'étend en général jusqu'à 2 m. de profondeur, mais à l'extrémité ouest, où la profondeur des eaux ne dépasse en somme pas 1 m., cette zone est très étroite. L'état chétif des roseaux est probablement causé par le fait que le sol se compose ici de matières végétales incomplètement décomposées, tourbeuses.

Les Nymphéacées habitent les côtes abritées et forment en général des végétations

complètement «pures», c'est-à-dire non mélangées. On les trouve surtout par 2 m. environ. Voir à la p. 50 la liste des espèces appartenant à l'association des Nymphéacées.

L'association des Potamogetonacées comprend les espèces suivantes.

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| <i>Potamogeton lucens</i> .....     | 1—2½ m, |
| — <i>crispus</i> .....              | 1—2½ m, |
| — <i>zosterifolius</i> .....        | 1 m,    |
| <i>Batrachium circinnatum</i> ..... | 1 m.    |

L'association des limnées submergées fait presque complètement défaut dans ce lac.

Association des Hydrocharites. Liste des espèces p. 50.

La plus grande partie du plancher du lac est sans végétation, malgré sa faible profondeur. Ce phénomène s'explique par le fait que l'eau très trouble absorbe beaucoup de lumière, même à travers de minces couches d'eau.

#### *Le lac de Farum.*

Carte II B.

Le plan a été levé principalement à l'aide du fil de 100 m. A quelques points seulement, ainsi à l'extrémité ouest et dans le golfe sud, la bordure des roseaux a été mesurée avec l'assistance des guides de l'état-major. Le lac de Farum ressemble assez à celui de Bagsværd par sa forme et sa grandeur, mais elle s'étend dans la direction O.S.-O., et le profil de son bassin est différent. La profondeur maximum est de 16 m. Le fond est très accidenté, avec çà et là des pentes raides.

Quant aux zones végétales, il faut spécialement remarquer qu'à l'exception de l'extrémité ouest, les nymphéacées se trouvent mêlées aux espèces qui composent les champs de roseaux.

Voir p. 48 la liste de toutes les espèces trouvées dans ce lac, avec indication des profondeurs.

#### *Le lac de Bastrup.*

Carte I B

Le plan des végétations a été levé exclusivement avec l'assistance des guides experts, en même temps qu'on procédait à la mesure bathymétrique.

Le lac de Bastrup est le plus petit des lacs étudiés. Il est de forme oblongue, la ligne côtière est un peu ondulée, et les courbes de profondeur sont régulières, le fond descendant presque partout en pente rapide jusqu'à 6 ou 7 m. La végétation est pauvre en espèces; la zone des roseaux seule est bien développée. Le fond entier, au delà de 2 à 3 m, est complètement nu; ce fait est dû sans doute à l'eau très trouble; la pauvreté en espèces tient peut-être à l'étroitesse de la région littorale.

Voici les espèces que nous avons trouvées:

|                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| <i>Equisetum limosum,</i>     | <i>Potamogeton natans,</i> |
| <i>Heleocharis palustris,</i> | <i>Scirpus lacuster,</i>   |
| <i>Phragmites communis,</i>   | <i>Typha angustifolia.</i> |
| <i>Polygonum amphibium,</i>   |                            |

#### *Le lac de Lyngby.*

Carte VI B I, B II.

Le lac de Lyngby n'est pas beaucoup plus grande que le lac de Bastrup, mais la forme en est plus arrondie, et les conditions naturelles sont à beaucoup d'égards complètement différentes. Le mesurage fut fait en juillet 1912. Le fil de 100 m. fut employé sur la côte sud; d'ailleurs le mesurage des zones végétales fut mené de front avec le sondage bathymétrique de manière à servir aux deux buts. La ligne de la côte nord n'étant pas tracée sur la carte de l'état-major avec une précision assez complète pour le but que nous nous proposons, on l'a déterminée plus exactement à l'aide d'une série de visées à stadia.

La profondeur du lac est généralement faible; le maximum en est 4½ m.; sur la plus

grande superficie elle ne dépasse pas 2 ou 2½ m. Le fond est presque partout mou, vaseux (Dy\*, v. Post). Le lac reçoit l'écoulement venant de tous les autres lacs. La végétation est très abondante et très variée. Nous n'avons noté sur la carte botanique que les espèces qu'il faut regarder comme faisant partie intégrante de la flore, tandis que nous avons laissé de côté les plantes qui y apparaissent d'une manière intermittente, p. ex. dans les roselières près de la rive. La liste de ces dernières espèces est donnée à la p. 52. Toutefois le grand nombre d'espèces que nous avions à enregistrer a causé la nécessité de tracer deux cartes, dont une indique l'aire d'extension des plantes principales et l'autre les lieux d'apparition des espèces plus rares.

Au milieu du lac s'élèvent deux îles assez grandes, couvertes d'aulnaies. L'île qui est située le plus au sud a un fond solide, tandis que celle du côté nord semble consister en vase organique, reposant pourtant, il faut le supposer, sur quelque haut fond solide. En tout cas il paraît évident que cette île a reçu un accroissement considérable par des morceaux détachés du terrain vaseux qui borne le lac vers le nord. De tels morceaux sont de temps en temps poussés par le vent d'ouest vers le milieu du lac, où ils sont souvent retenus par les plantes et se transforment en îlots. Un nombre de ceux-ci sont indiqués sur la carte. Voir à la p. 52 deux listes sur les espèces trouvées sur ces îlots.

1) la flore d'un îlot à l'extrémité ouest du lac: longueur de l'îlot 2 m, largeur à peine 1 m.

2) la flore d'un îlot à 50 m. au nord-est de l'île nord.

Pendant les chaleurs de l'été on voit souvent émerger en plein lac des îlots sans végétation. Ce phénomène est dû probablement à une accumulation de gaz dans le fond vaseux, par l'action duquel gaz le fond est soulevé.

Les roselières du côté nord ont cela de particulier que la végétation est fortement mêlée de Limnées et d'Hydrocharites. Ensuite il faut remarquer que sur la côte nord *Typha* se trouve presque toujours le plus près de la terre ferme, *Scirpus* plus en avant. On peut dire en général que si la végétation de la rive sud ressemble beaucoup à celle des autres lacs mentionnés, la flore de la rive nord a un caractère tout spécial.

L'association des Nymphéacées y est très bien développée, et se présente en deux zones bien distinctes; en s'avancant de la rive on trouve d'abord *Nuphar* et *Potamogeton natans*, plus loin *Nymphaea alba*.

Parmi les Potamogetonacées *P. lucens* est la plus commune, c'est en effet la plante la plus répandue du lac.

L'association des Limnées complètement submergées a une extension peu considérable. *Elodea canadensis*, laquelle il y a une vingtaine d'années menaçait d'envahir le lac entier, a maintenant presque disparu. L'association des Hydrocharites, au contraire, est d'une plus grande importance.

En s'appuyant sur les observations qu'il a pu faire sur divers lacs de la partie nord du Seeland, notamment les deux lacs mentionnés ici, W.-L. ajoute quelques remarques concernant l'envahissement de végétaux qui menace nos lacs. «On a souvent quelque peine à comprendre, pourquoi tel lac est rempli de végétation avec une rapidité énorme, tandis que tel autre semble à peine changer pendant plusieurs décennaires. Les plantes qui contribuent le plus puissamment à combler un lac, appartiennent à la société des roselières ou à la formation des Nymphéacées et des Potamogetons. Nos lacs de profondeur médiocre (4 à 10 m.) offrent souvent cette particularité que le plancher en est complètement nu; la seule plante, à ma connaissance, qui habite le fond de ces étangs, est *Fontinalis*. La cause première en est probablement que malgré la faible profondeur, c'est la lumière qui fait défaut. La quantité de plankton que renferment ces petits lacs est énorme; le fond en est si mou que le moindre mouvement de l'eau le soulève. Ces deux faits réunis tendent à diminuer la transparence de l'eau. En outre, les acides humiques donnent à l'eau une teinte brune, et enfin le fond est souvent formé d'une vase puante, peu favorable, il faut le croire, à la prospérité des plantes aquatiques. Dans les cas où l'élévation du fond dépend principalement de l'action des sociétés végétales mentionnées ci-dessus, il est clair que cette action ne se fait sentir avec quelque force que dans les endroits où la profondeur n'atteint pas 4 m., ce chiffre marquant la limite que ces plantes ne dépassent guère dans nos lacs.



Le moment critique dans l'histoire de la transformation de nos lacs en marécages est celui où les Nymphéacées et les Potamogetonées peuvent envahir le fond entier. Alors est introduit un facteur qui contribue puissamment à lever le fond; avant ce moment ce n'est guère que le plankton et le détritus dérivant des bords, qui joue un rôle à cet égard. Données donc deux lacs voisins, dont les profondeurs respectives sont un peu moins et un peu plus de 3—4 m., il ne faut pas s'étonner si le premier — comme le lac de Lyngby — soit rempli de végétation avec une grande rapidité, tandis que l'autre se maintient « toujours » — comme le langage humain aime à le dire — pareil.

Parmi les conditions secondaires qui déterminent le fait qui nous occupe, il faut nommer les différents degrés de température de l'eau, l'orientation du lac par rapport aux vents prédominants, et enfin la quantité de détritus apportée par les affluents.

#### Chapitre IV. La Végétation du Furesø.

Par Mme SEIDELIN-RAUNKJER et J. BOYE PETERSEN.

Mme S.-R. a fourni tous les renseignements sur les Characées, M. B. P. ceux concernant la zone de *Scirpus-Phragmites*; tout deux ont étudié ensemble les zones submergées. Le chapitre a été rédigé et un peu augmenté par W.-L. Les travaux de B. P. furent exécutés principalement en 1911. Mme S.-R. a étudié la végétation submergée, surtout les Characées, en 1901—1903, pour reprendre ces études en 1913, année où les recherches plus approfondies furent faites. Pour le mesurage des champs de roseaux on s'est servi du fil de 100 m., tendu à 500 m. de distance; pour le golfe du Store Kalv, on a recouru à la méthode des visées croisées prises sur terre.

Dans l'exploration de la végétation submergée on s'est servi de la drague à filet, ou d'un râteau à double face et à dents courbées, auxquelles étaient fixées d'autres dents très minces. Cet appareil était surtout employé sur les profondeurs considérables; on le traînait sur de courtes distances, et la profondeur était mesurée avant et après chaque traction, les variations de profondeur ne dépassant pas  $\frac{1}{2}$  m. L'appareil servait encore à déterminer la limite exacte de la végétation vers le fond du bassin, tandis que la drague à filet nous renseignait plus rondement sur l'existence ou l'absence de végétation dans les grands fonds. En avant de la zone de *Scirpus-Phragmites* les Characées dominent; leur association comprend 10 espèces sur 31 habitant les zones submergées. Elle a donc été étudiée avec soin, plus à fond que dans aucun autre lac danois; il se peut pourtant que toutes les espèces n'aient pas été recueillies, le quart de celles qui ont été notifiées ne se présentaient que 2 ou 3 fois.

La société des roselières consiste principalement en *Phragmites communis* et *Scirpus lacuster*; *Typha angustifolia* ne se trouve guère que dans le Store Kalv où l'eau est très tranquille. Dans le lac proprement dit la zone de roseaux est assez étroite (1 ou 2 m.), en quelques endroits elle manque tout à fait. *Phragmites* et *Scirpus* croissent souvent entremêlés, le premier prédomine pourtant du côté de la plage, tandis que *Scirpus*, qui préfère un sol plus mou, se range au deuxième plan. En avant de cette zone se trouve souvent une végétation complètement submergée de *Scirpus lacuster* qui n'élève que rarement des tiges aériennes. Normalement cette zone s'étend jusqu'à 2  $\frac{1}{2}$  m. Souvent elle commence à quelque distance du rivage, l'entassement des glaçons au moment du dégel ayant détruit les rhizomes; si l'hiver a été moins froid et que les plantes n'aient pas souffert de la glace, elles s'avancent plus près de la plage. Sur les côtes abritées du Store Kalv la zone des roselières s'étend en champs larges de 280 m.; près du rivage nous trouvons ici non seulement *Typha*, mais aussi *Heleocharis acicularis* et *Equisetum limosum*. La glace est la cause principale de la rareté de la végétation basse mêlée à *Scirpus* et à *Phragmites*. Parmi les Characées *Chara ceratophylla* et *C. rudis* sont les plus communes, la première plus près de la plage. Dans l'eau très basse *C. aspera* prédomine; dans la partie extérieure de la zone et au dehors les Hypnacées jouent un rôle considérable, tandis que *Littorella uniflora* est très rare. Les quelques espèces à feuilles nageantes ont toutes, à cause de l'agitation des vents et des vagues, cherché l'abri

offert par les roseaux; nous n'avons à citer que 2 plantes: *Nuphar luteum* et *Potamogeton natans*, toutes les deux peu nombreuses dans le lac. L'action de la glace sur la végétation de cette zone se manifeste aussi en ce qu'elle arrache la jeune flore de *Myriophyllum* et de *Potamogeton perfoliatus* dont l'été avait couvert le fond, pour la déposer le long de la plage au commencement du printemps.

**Formation des Limnées. Association des Potamogetonées.** La zone de *Scirpus-Phragmites* dépassée, la végétation est presque entièrement submergée; il n'y a que les fleurs de *Batrachium* et les inflorescences de *P. lucens* et de *P. perfoliatus* qui s'élèvent au-dessus de l'eau. L'association des Potamogetonées se compose des plantes énumérées à la p. 63; *Hippuris*, *P. crispus* et *P. zosterifolius* qui, sous une forme toute submergée, semblent avoir joué autrefois un assez grand rôle, sont aujourd'hui peu nombreux. *P. lucens* et *P. perfoliatus* comptent parmi les plantes principales; elles forment une zone en avant de *Scirpus*, et elles couvrent le sommet de tous les hauts fonds du lac. Leurs jeunes pousses atteignent la surface au mois de mai, pour retomber sous l'eau en octobre. *P. perfoliatus* descend le plus bas, il prédomine sur les hauts fonds au milieu du lac; souvent, et surtout par un temps orageux, ses inflorescences nagent en position horizontale à la surface ou sous une mince couche d'eau; *P. lucens* au contraire dresse toujours ses tiges florifères droit en l'air. *P. mucronatus* et *trichoides* sont bien moins nombreuses; en août déjà on trouve des exemplaires dont les turions sont visibles. *Batrachium circinnatum* est très commun, surtout sur les hauts fonds; c'est sur la nappe d'eau ouverte le seul végétal dont la fécondation est amenée par l'action des insectes.

L'association des Limnées complètement submergées est formée de Characées, de Mousses, de *Zanichellia major*, rencontré en un seul endroit (2 à 3 m.), et enfin d'*Elodea canadensis*. Cette dernière espèce s'étend depuis 1 jusqu'à 7 m., elle descend peut-être encore plus bas. Nous en avons trouvé des morceaux détachés même par 14—15 m. Par 4 m. de profondeur elle forme en hiver ses pousses très serrées, pareilles à des turions; par 7 m. elle n'en a pas. Pendant tout l'hiver elle conserve une belle couleur vert tendre. Il faut ranger dans la même association les végétations de *Scirpus* à feuilles linéaires, complètement submergées.

La société des Hydrocharites se compose de *Ceratophyllum demersum*, de *Myriophyllum spicatum*, de *Stratiotes aloides* et de *Utricularia* sp. La dernière espèce joue un rôle peu considérable; *Stratiotes* est commun dans le Store Kalv, il s'avance jusqu'à 3 m. Les deux premières ont une distribution plus étendue, surtout, paraît-il, dans le Store Kalv: *Ceratophyllum* descend jusqu'à 7 m., *Myriophyllum* peut-être un peu moins loin. Dans le Furesø ces espèces semblent ne pas produire de turions; toutes les deux se conservent fraîches et vertes pendant tout l'hiver; témoin des récoltes faites dans la saison froide.

#### Travaux de statistique.

Pour déterminer la fréquence des végétaux Mme S.-R. a employé quelquefois la méthode RAUNKJER (1905), méthode qui se prête pourtant moins bien à un travail exécuté en bateau qu'au travail sur terre. On s'est servi, pour les récoltes, du bateau à double face. On a choisi une localité (A) près de Frederiksdal, par 3 m. de prof., une seconde (B) dans la baie de Kollekolle, par 3—3½ m., et une troisième près de la station A, mais par 4—5 m. Les résultats obtenus sont donnés dans les tables A. B. C.

#### Limite extérieure de la végétation.

On a essayé de déterminer cette limite aussi exactement que possible, en se servant du bateau à double face. La végétation semble cesser assez abruptement vers 7½ m. Les plantes croissant par 6½—7 m. sont énumérées à la p. 69, sans compter les quelques débris de végétaux rencontrés par 8—15 m. *Nostoc* descend un peu plus loin, mais cette espèce a peu d'importance dans ce lac. Les Cladophoracées apparaissent assez souvent sur les coquilles de moules, jusque par 12 m; on ne peut pourtant pas parler d'une zone de *Cladophora* comme dans le Starnbergersee (Brand).



C'est par 4½—5 m. que la végétation est le mieux développée.

Les formes principales sont les Characées, avant toutes *Tolypellopsis*; viennent ensuite plusieurs espèces de *Potamogeton*, avec 4 ou 5 autres Phanérogames, et enfin les Mousses. Au delà de 4½—5 m. la richesse d'espèces diminue, voir p. 68. La profondeur maximum où descend la végétation varie entre 5 et 7½ m. dans les différentes parties du lac. Les formes les plus grêles prédominent généralement par les grandes profondeurs; tel est le cas et pour les *Potamogetonées* et pour les Characées, ces dernières manquent de cortex ou la possèdent peu développée. Voir p. 69 la liste des profondeurs maximum pour toutes les plantes du lac.

#### *La végétation du Store Kalv, du Lille Kalv et des bancs submergés.*

Dans aucune localité du Furesø la végétation n'est plus abondante que dans le Store Kalv. Par une profondeur de 3 à 4 m. une plaine égale est couverte d'une riche flore, où presque toutes les espèces du lac se trouvent représentées, sans se grouper en zones distinctes. *Stratiotes* n'apparaît que dans la partie intérieure; vers le milieu du golfe *Tolypellopsis* et *Elodea* sont les plantes principales, la première surtout; à la p. 70 nous avons parlé des espèces prédominantes de *Chara*; à travers le tapis que forment les Characées, la flore des Phanérogames se fraie un chemin vers la surface. Près de la rive, par ½ m., la flore consiste principalement de *C. ceratophylla* et *contraria*, toutes les deux fortement encroûtées de calcaire. La composition de la végétation habitant le Lille Kalv est démontrée par les deux tables p. 71—72, élaborées sur les principes de la méthode RAUNKJER.

Les bancs submergés sont caractérisés par le manque presque absolu de Characées. Les autres espèces, qui toutes se distinguent par leur état prospère, ont été mentionnées à la p. 72.

En comparant les Characées du Furesø à celles du Lac de Constance, lequel, grâce aux travaux de KIRSCHNER et SCHRÖTER et à ceux de BAUMANN, est un des lacs les mieux connus, on voit que le Lac de Constance ne possède qu'une seule espèce (*Nitella hyalina*) qui ne se trouve pas dans le Furesø. Ce lac, de son côté, possède une espèce qu'on n'a pas rencontrée dans le lac suisse, c'est *Chara jubata*, espèce qui, selon MIGULA, n'est connue que dans les lacs baltiques.

#### *Observations spéciales.*

*Nostoc pruniforme* Ag. peut dépasser 20 m. Dans le lac de Hald on l'a rencontrée par 30 m. Dans le lac d'Esrom, par 2—4 m., elle couvre le fond d'un tapis presque continu; dans le Furesø elle est peu importante.

*Cladophora*, voir plus haut.

*Nitella syncarpa* (Thuill) Kütz? Trouvée à l'état stérile seulement. Elle appartient au groupe de *Monotrochyle* (*Flexiles*) (Migula p. 97). On a fait de la pointe des feuilles le trait distinctif de cette espèce, mais ce choix n'est pas heureux, la pointe variant de forme sur une même plante. Elle offre des formes transitoires qui la rapprochent de *N. opaca*. Celle-ci se présente en grand nombre dans divers endroits; sans former une zone spéciale elle occupe le bord de la zone des *Tolypellopsis*, où celle-ci touche au plancher de limon sans végétation (profondeur 3—8 m.).

*Nitella opaca* Ag? trouvée à l'état stérile, seulement dans le golfe de Store Kalv (4 m.).

*Tolypellopsis stelligera* Migula (Bauer) est, j'ose le dire, parmi toutes les plantes du Furesø, celle qui caractérise le plus la végétation de ce lac. Dans le Store Kalv, elle forme de vastes champs submergés, et elle cerce le lac entier d'une zone plus ou moins large, coupée, il est vrai, de quelques lacunes (prof. 1½—8 m.). Ses tubercules blanches stelliformes se trouvent en grand nombre dans la vase. Dans les pays du Nord on ne la connaissait autrefois que dans le Lefarsjö (Scanie); dernièrement OSTENFELD a constaté son existence dans le fiord de Randers (Jutland), et Mme S.-R. l'a trouvée dans quelques autres localités. On la regarde en général comme rare; elle existe pourtant dans la plupart des pays de l'Europe centrale. C'est une forme lacustre qui préfère les profondeurs considérables. Elle se reproduit surtout

au printemps par des pousses se développant des turions; la plante dépérit en octobre, du moins dans les eaux peu profondes; il est possible qu'elle soit vivace par de plus grandes profondeurs. *Macula* d'opinion qu'elle est biennale. La plante est unisexuée, mais dans beaucoup d'endroits on ne rencontre que l'un des sexes. Dans le Furesö on n'a trouvé que des plantes mâles et stériles. Les anthéridies en Juillet—Septembre.

*Chara dissoluta* A. Br. Cette espèce rare est congénère à *Chara contraria*. Jusqu'à présent elle n'était connue qu'en Suisse, en Italie, en Angleterre et en Afrique; (déterminée par NORDSTEDT). On la trouve distribuée en petits groupes mêlés aux *Tolypellopsis*.

*Chara ceratophylla* Wall est une plante prédominante, tant dans la zone de *Scirpus-Phragmites* qu'au delà; en dehors des roselières elle croît par 1½—7 m., s'avancant souvent jusque sur la plage; elle se présente ici dans les variétés *humilis* et *microphylla*. On trouve des plantes mâles et femelles.

*Chara jubata* A. Br. En Danemark elle n'est connue que dans le Furesö (3—7 m.). Selon MIGULA elle n'existe que dans les pays baltiques.

*Chara contraria* A. Br. est commune dans le lac (1—7 m.). On la trouve souvent fructifiante, très variable en vigueur, en nombre de cellules de cortex, etc.

*Chara rudis* A. Br. est, comme *C. ceratophylla*, une des *Characées* les plus robustes. Descendant jusqu'à 7 m., elle préfère 2—4 m. et forme ici de vastes champs, surtout dans les golfes. Les cellules de cortex varient en nombre. En général les organes sexuels manquent.

*Chara aspera* (Dethard) Willdenow. Surtout par une faible profondeur, souvent par quelques centimètres seulement. Elle se présente soit sous sa forme typique, ayant des plantes mâles et femelles, soit sous une forme très ramassée, sans épines, ressemblant à *Ch. contraria*. Cette variété a été trouvée stérile seulement. Dans le Lille Kalv, par une profondeur un peu plus grande (0—3 m.), elle a une forme plus élancée.

*Chara fragilis* Desvaux; c'est, après *Tolypellopsis*, la plus fréquente des *Characées* (1—7 m.). Elle apparaît soit sous une forme assez vigoureuse, mais stérile, soit sous une forme plus élancée, et alors fructifiante.

*Fontinalis antipyretica* L. atteint sans doute la dernière limite de la végétation. Dans le lac de Constance elle descend jusqu'à 17 m.; quelques exemplaires ont été trouvés dans le Furesö par 11 m. Le rôle qu'elle tient dans ce lac n'est guère importante, en tout cas comparé à son caractère prédominant dans certains étangs; surtout si l'eau est très riche en acides humiques, elle couvre souvent le fond entier.

*Fontinalis Kindbergii* Ren. & Cordet; rencontrée dans le Furesö près de Kollekolle. Très rare dans ce pays.

*Hypnum scorpioides* L. (*Scorpidium scorpioides*). La variété trouvée dans le Furesö a, selon le pharmacien Jensen-Hvalsø, les feuilles acuminées à un très haut degré. L'espèce est assez commune.

*Amblystegium Sendtneri* Schimp. Une des plantes les plus communes du lac (0—7 m.); elle couvre souvent le fond.

*Amblystegium Kneiffii* Br. ressemble beaucoup à la précédente, il est souvent difficile de l'en distinguer (0—5 m.).

## Chapitre V. La faune malacologique du Furesö.

Par C. M. STEENBERG.

Les matériaux traités dans le présent ouvrage ont principalement été recueillis pendant les étés de 1913 et de 1914; quelques récoltes supplémentaires ont été faites en 1915 et 1916. Mes explorations ont compris toutes les profondeurs depuis 1½ jusqu'à 36 m., le plus grand nombre des dragages ont cependant été faits en deçà de 15 m. Au delà de cette limite, j'ai eu l'occasion d'examiner une cinquantaine d'échantillons pris par K. BARDENFLETH à l'aide de la drague à coupe et contenant des Pisidies. Les études sur le littoral furent faites en 1915—16.

Les trois principaux ouvrages traitant de la faune malacologique du Furesö sont ceux

de W.-L. (1901) et de A. C. JOHANSEN (1899, 1902). A la page 79—80 j'ai donné la liste des espèces que j'ai recueillies moi-même dans le Furesø ou dont j'ai vu des exemplaires sûrs chez d'autres explorateurs.

*Distribution bathymétrique, fréquence et variation des espèces.*

*Gastropoda.*

*Limnæa stagnalis* L. (pl. IV, fig. 1—8). La forme la plus commune est var. *subulata* Wstld. Limite extérieure de l'espèce 5 m. environ.

*L. auricularia* (pl. I), commune sur les *Scirpus* et les *Phragmites*; plus rare sur le fond. Limite extérieure 7 m. La planche montre les variations les plus importantes de l'espèce.

*L. ovata* Drap. (pl. II). Même limite de profondeur que la précédente; c.-à-d. 7 à 8 m. Un peu plus répandue que celle-ci sur le fond au dehors de la zone de *Scirpus-Phragmites* et ayant une plus grande variation (pl. II et fig. 12 du texte). La forme typique (pl. II, fig. 13, 14, 12) et la variété *patula* Da Costa (pl. II, fig. 1 à 5), toutes deux à coquille mince, se plaisent dans les endroits abrités des golfes de Store Kalv et de Lille Kalv; la var. *inflata* Kob. (pl. II, fig. 11, 15, 16—20), à coquille plus épaisse, préfère le bassin même du Furesø où l'eau est moins calme. *L. ampla* Hartm. (fig. 23—25) seulement sur le fond du lac, non pas sur les plantes aquatiques. Comme l'a constaté A. C. JOHANSEN (1899), on trouve toutes les formes intermédiaires entre celle-ci et *ovata*, mais non entre *ampla* et *auricularia*. *L. ampla* n'est pas une espèce particulière, c'est une forme biologique, qui peut apparaître chez toutes les espèces habitant des grands lacs où les eaux sont plus agitées. Dans notre pays elle apparaît seulement comme une variété de *L. ovata*, ailleurs le plus souvent comme une variété de *L. auricularia* (Hazay 1881, Bollinger 1909). Les autres variétés sont var. *obtusata* Kob. (II, fig. 6 à 8) et var. *hartmanni* Charp. (II, fig. 9—10). Suivant mes recherches la spire offre les meilleurs traits distinctifs (fig. 13 et 14 du texte); on peut en outre s'en servir pour déterminer les jeunes individus. Les organes génitaux présentent les caractères les plus sûrs pour la détermination de l'espèce: le receptaculum seminis, la prostate, le pénis (Roszkowski 1912, 1914). Les jeunes individus de chaque espèce varient peu entre eux; car c'est surtout le dernier tour qui subit l'influence du milieu.

*L. palustris* Müll. (fig. 15 du texte). Commune dans les anses, sur les plantes. Prof. c. 2 m.

*L. truncatula* Müll., *Aplexa hypnorum* L. et *Planorbis spirorbis* L. ont été recueillies dans des flaques d'eau sur la rive, pas dans le lac même.

*Amphipeplea glutinosa* Müll. (fig. 16 et 17 du texte). Ce Mollusque a été recueilli par de faibles profondeurs (1 m., 2½ m., 3 à 7 m.) dans le Store Kalv et le Lille Kalv, dans les canaux et devant Virum.

*Physa fontinalis* L. (fig. 18 du texte) commune sur les plantes du littoral. N'est draguée qu'une seule fois (Kollekollen, dragage entre 3 et 9 m.).

*Ancylus lacustris* L. (pl. III, fig. 47 à 52). En grand nombre sur les tiges de nénuphars, sur les *Scirpus* et *Phragmites* (Fiskebæk, Frederiksdal).

*Planorbis*. Sur les plantes près de la rive, dans les endroits abrités, souvent en grand nombre: *P. corneus* L., *planorbis* L. (fig. 19 du texte), *carinalis* Müll. (fig. 20—21 du texte), *vorlex* L. (pl. III, fig. 57 à 59), *contortus* L. (fig. 22 du texte) et *nauleus* L. (fig. 23 à 26 du texte); dans les anses, où l'eau est très peu profonde, en outre *nitidus* Müll., *complanatus* L. (fig. 27, 28 du texte) et *spirorbis* L. Je n'ai pas recueilli moi-même d'exemplaires vivants des trois derniers nommés. La limite extérieure des Planorbis est 5 m. environ.

*P. corneus* L. (fig. 29 du texte). Outre la forme typique on trouve une forme qui rappelle var. *ammonoceras* Westld. Répartition 0—5 m.

*P. albus* Müll. Distribution 0—5 m.; un exemplaire isolé pris à 8 m. A côté de la forme typique (fig. 30 du texte) et *hispida* Drap. on trouve une forme (fig. 31—33 du texte, pl. III, fig. 60—62) qui rappelle var. *socius* Westld. et *deformis* Hartm. et dont la coquille lenticulaire est ornée d'un treillis très prononcé, ayant souvent une forte carène, formée du périostacum. Plusieurs individus (fig. 34 du texte), comme ceux de la var. *deformis* Hartm., sont susceptibles de déformations considérables par suite de l'influence des vagues.

*Bythinia lentaculata* L. (fig. 35 du texte). C'est le Gastéropode le plus commun et, après *Valvata piscinalis* Sowb., celui qui a la plus grande distribution bathymétrique. Limite extérieure 9—10 m. de fond.

*B. leachi* Shepp. (fig. 36 du texte). Commune sur les plantes du littoral; une seule fois trouvée dans un dragage.

*Neritina fluviatilis* L. (fig. 37 du texte). Habite principalement les fonds caillouteux et les bancs de coquilles. C'est le seul Mollusque qui est commun dans la zone des brisants (W.-L. 1908—09). Limite extérieure 7—8 m.

*Bythinella scholtzii* A. Schm. (fig. 38 et 39 du texte). De cette espèce nous n'avons trouvé que des coquilles vides, souvent en grand nombre. Prof. 3 à 13 m.

*Valvata piscinalis* Müll. (pl. III, fig. 1 à 46). — La variété *antiqua* Sowb. est le Gastéropode qui s'avance le plus loin dans le Furesö (jusqu'à 13 m.); vers le bord *V. antiqua* vit communément avec des formes qui ressemblent à *f. typica*; cependant l'*antiqua* a le dessus encore par 3 ou même par 2 m. Les jeunes individus de l'*antiqua* sont plus nombreux par les faibles profondeurs que les adultes; le nombre en est considérable; nous en avons pris dans le Store Kalv jusqu'à 146 en un dragage. — L'espèce est très variable: Partant de l'*antiqua* typique (pl. III, fig. 10—14 et fig. 40, 41 du texte) les variations tendent dans deux directions: 1) Vers des formes à coquille haute, élancée, conique, souvent à tours anguleux (fig. 1 à 5). 2) Vers des formes à coquille plus déprimée, ovoïde-conique, à tours arrondis, plus bombés et à suture plus profonde (fig. 41—45). De 2) il y a transition à des formes qui ressemblent au *piscinalis* typique (fig. 46). On rencontre çà et là des individus à coquille presque cylindrique (fig. 29) et à dernier tour détaché (fig. 25 à 27). — Quant aux exemplaires adultes, on distingue assez aisément s'ils appartiennent à l'*antiqua* ou au *piscinalis* typ.; cette distinction est plus difficile quand il s'agit des jeunes individus. Dans la variété *antiqua* ceux-ci (fig. 43 du texte) sont reconnaissables par les tours anguleux faiblement bombés, la suture plate et l'ouverture anguleuse; par contre, les jeunes individus du *piscinalis* typ. (fig. 42 du texte) ont l'ouverture et les tours arrondis et la suture profonde. — *Antiqua* est une variété de *piscinalis*, adaptée à vivre dans les grands lacs; les influences du milieu ont ici — contrairement à ce qui est le cas pour les *Limnaea auricularia* et *ovata* — été assez effectives pour agir sur la partie la moins variable de la coquille, à savoir la spire. C'est pourquoi on peut presque toujours distinguer les jeunes de l'*antiqua* typ. et des individus appartenant à la série 1 des variations d'avec les jeunes du *piscinalis* typique. Le cas est plus difficile pour les jeunes des exemplaires appartenant à la série 2 des variations, qu'il faut regarder en quelque sorte comme des formes transitionnelles entre l'*antiqua* et le *piscinalis* typique.

*Valvata macrostoma* Steenb. (pl. III, fig. 53 à 56) n'a pas été prise à la drague; on la trouve çà et là dans des endroits abrités près de la rive.

*V. cristata* Müll. (fig. 44 à 46 du texte). Commune près de la rive, plus rare dans l'eau plus profonde; limite extérieure 3 m. environ.

#### *Acephala.*

*Unio pictorum* L. (pl. V, fig. 1 à 12, pl. VI, fig. 1 à 6). Cette espèce vit ensemble avec *tumidus*, mais elle est plus rare; on la trouve par toutes les profondeurs de 2 à 9 m. — La variation est moins grande que dans l'espèce *tumidus*. La forme typique (pl. V, fig. 1 et 2) est rare; on rencontre plus souvent la forme rhomboïde ou trapézoïde (*longirostris* Ziegl.) (pl. V, fig. 3 à 8); de celle-là transition égale aux formes rostrées (pl. V, fig. 9 à 12, pl. VI, fig. 1 à 5), dont la région postérieure est arquée vers le bas, en analogie avec l'*U. arca* Held et le *platyrhynchus* Rossm. qui vivent dans les lacs suisses et dans ceux de l'Allemagne méridionale. La 4<sup>e</sup> forme est représentée par de petits individus ovalaires, courts et ventrus (pl. VI, fig. 6).

*Unio tumidus* Retz. (pl. VII et VIII, fig. 1 à 7) se trouve presque partout en deçà de 9 à 10 m. La forme typique (pl. VIII, fig. 6) est très rare.

Quatre formes sont communes: 1) *U. conus* Spengl. (pl. VII, fig. 1, 2, 4). 2) Une forme qui ressemble au *pictorum* (pl. VII, fig. 6 et partiellement aussi fig. 3, 5, 7, 8). Voici les traits qui distinguent cette variété du *pictorum*: le galbe des dents cardinales, la structure des



sommets (pl. VIII, fig. 7); les angles saillants qui bordent le corselet, la partie très renflée derrière les sommets, et la partie postérieure fortement atténuée (pl. VIII, fig. 3). 3) La forme ovulaire (pl. VII, fig. 9 et 10; pl. VIII, fig. 2), représentée par de grands et forts individus à valves épaisses, châtain foncé, et à corselet moins distinctement limité. 4) Forme à rostre arqué vers le bas (pl. VIII, fig. 1, 5). — Quelques individus à valves tordues et asymétriques ont vécu serrés entre des pierres (pl. VIII, fig. 4).

*Anodonta cygnea* L. (pl. IV, fig. 9 et 10; pl. VIII, fig. 8 à 10). La plupart des individus peuvent être classés dans la variété *macula* Shepp. (pl. VIII, fig. 8). (Locard 1893, fig. 292, Bourguinat 1880, p. 285). De là on trouve toutes les transitions jusqu'aux individus allongés qui correspondent à l'*A. lacustrina oviformis longirostris* de Buchner (Buchner, Taf. IV, fig. 9) et à l'*A. piscinalis* Nils. Tous les Anodontes du Furesø sont remarquables par leur petite taille (le plus grand individu a 68 mm. de longueur, 45 mm. de hauteur). L'espèce se trouve mêlée à l'Unio, mais pas en très grand nombre. Limite extérieure 10 ou 11 m.

*Spharium corneum* L. (pl. VI, fig. 15 et 16), assez commune près de la rive, dans les endroits abrités et sur un fond vaseux. Seulement dans le Store Kalv elle a été draguée par 2 à 4 ou 5 m.

*S. (Calyculina) lacustre* Müll. et *ryckholti* Norm. var. *danicum* Cl. ont été citées comme vivant dans le Furesø; je n'en ai jamais trouvé.

*Pisidium amnicum* Müll. (pl. IV, fig. 15 à 18). Commune dans les canaux et dans les anses calmes. Limite extérieure 4 ou 5 m.

*P. casertanum* Poli (pl. IV, fig. 11 à 14) partout dans le lac; près de la rive (0,2–1 m.) en petit nombre et en petits exemplaires; elle est de plus en plus nombreuse et de taille plus grande à mesure qu'on s'éloigne de la côte. Par 30–36 m., 50–150 individus ont été pris en un dragage. L'espèce se présente sous 3 formes: 1) Forma *typica* (pl. IV, fig. 14). 2) Forme à coquille très épaisse, subtriangulaire, à charnière très forte (pl. VI, fig. 17 et 18). 3) Forma *lacustris* B. B. Woodw. Cette dernière prise dans le Store Kalv par 2 à 4 m.

*P. henslowianum* Shepp. (pl. VI, fig. 21 à 24) moins fréquente par les faibles profondeurs; nombreuse dans les grandes profondeurs, jusqu'à 30 m.; de là le nombre des individus diminue rapidement, jusqu'à la limite extérieure, vers 36 m. La forme *inappendiculata* a été trouvée quelques fois.

*P. subtruncatum* Malm (pl. VI, fig. 7–12), par toutes les profondeurs de 0,2–30 m.; surtout par 4–5 m.

*P. parvulum* (Cl.) B. B. Woodw. (fig. 47 du texte). Répartition 1–20 m.; fréquente surtout entre 2 et 13 m.

*P. pusillum* (Gml.) Jen. (fig. 48 et 49 du texte). Cette espèce préfère les profondeurs de 2–5 m.; rare au delà de 10 m. Lim. ext. 25 m. (quelques individus isolés pris par 30 m.). Les individus sont particulièrement petits et fragiles.

*P. nitidum* Jen. (fig. 50 du texte). Rare dans le Furesø, ne descend qu'à 10 m. Comme le *pusillum* les individus sont tous petits et à coquille très mince; les caractères des deux espèces sont si effacés qu'il est difficile de les distinguer l'une de l'autre. Dans les canaux affluent au Furesø où les deux espèces vivent en grand nombre, les individus sont vigoureux et plus faciles à reconnaître.

*P. obtusale* (Lam.) Jen. Rare; recueillie dans six stations seulement. Lim. ext. 3 à 4 m.

*P. pulchellum* Jen. (pl. VI, fig. 19 et 20) et *P. milium* Held (pl. VI, fig. 13 et 14) ont été prises dans les canaux, non pas dans le lac même.

*Dreissensia polymorpha* Pallas (fig. 51 dans le texte) n'existait pas dans le lac en 1913. Trouvée pour la première fois en 1915. En 1916 je l'ai vue par milliers adhérent à toutes les pierres, branches et coquilles. Recueillie à toutes les profondeurs, depuis 0 m. jusqu'à 30 m.

#### *Zones de Mollusques et dépôts de coquilles.*

Ce sujet a été traité par W.-L. (1901) et par A. C. JOHANSEN (1902). W.-L. a démontré que dans le Furesø — comme dans les autres lacs danois d'une certaine étendue et dont la profondeur surpasse 15 m. — il faut distinguer 3 zones:

1) **La zone de végétation**, où on ne trouve qu'un petit nombre de coquilles déposées, comme les coquilles qui ont coulé à fond sont facilement détruites, soit par l'agitation des vagues ou des courants, par laquelle les coquilles sont usées et broyées, soit par l'action dissolvante des végétaux.

2) **La zone de coquilles**, dépôts énormes de coquilles de Mollusques. — Cette zone se trouve par 8 à 11 m. Les coquilles déposées appartiennent principalement aux espèces *Anodonta* et *Unio*, il y en a aussi de *Valvata* et — moins souvent — de *Bythinia*. Ces animaux vivent tous dans cette zone, ce qui ferait supposer que les dépôts sont formés presque exclusivement par l'entassement des coquilles mortes, provenant des Mollusques qui ont vécu sur l'endroit même. Quelques coquilles de Gastéropodes appartenant à la région littorale (*Planorbis*, *Limnæa* et *Neritina*) ont été transportées dans la zone de coquilles, mais en assez petit nombre.

3) **La zone profonde**, au delà de 15 m., où les Pisidies sont les seules Mollusques vivants, et où les coquilles vides se trouvent çà et là en petit nombre. Sur la genèse de la zone de coquilles voir W.-L., pag. 24—29 du présent ouvrage.

A. C. JOHANSEN dans son traité (1902) indique l'aire de distribution pour un grand nombre des Mollusques du Furesø, en s'occupant et des animaux vivants et des coquilles. — En ce qui concerne certains Gastéropodes il me faut mettre la limite des animaux vivants plus loin de la rive que ne le fait A. C. JOH.; quant aux *Unio* et *Anodonta* le contraire a lieu. A la page 107 j'ai dressé un tableau qui montre la limite extérieure pour certaines espèces d'après mes recherches et d'après celles de A. C. JOH.

En ce qui concerne les *Anodontes*, W.-L., d'accord avec A. C. JOH., trace la limite plus en avant que moi, soit à 13 m., tout en faisant observer qu'il ne s'agit que de quelques individus isolés. Je n'en ai jamais recueilli dans des circonstances qui me permettent d'indiquer avec sûreté une distribution au delà de 11 m.; mais je ne saurais nier que quelques individus puissent descendre plus bas.

Pareillement à W.-L., A. C. JOH. fait une distinction entre plusieurs zones selon les espèces qui y vivent ou les coquilles qui s'y déposent. Les deux systèmes diffèrent principalement — on va le voir — en ce que A. C. JOH. avance la limite extérieure de la zone de coquilles de 11 à 14 m.:

1) **La rive, où les coquilles sont apportées par les vagues**. L'auteur constate que les Limnées (*L. auricularia*, *L. ovala* var. *inflata*) viennent des endroits où ces animaux ont leur maximum de fréquence, soit 2 à 5 m.

2) **Les petites anses de la côte**. Ici les Pulmonés ont le dessus numérique, soit d'espèces, soit d'individus.

3) **La zone de végétation**. Limite extérieure 8 m. Quant aux coquilles, les Prosobranches surpassent en nombre les Pulmonés dans la zone entière. Quant aux Gastéropodes vivants, c'est par 5 m. et au-delà que les Prosobranches prennent le dessus. En outre cette zone est caractérisée par le grand nombre d'opercules de *Bythinia*.

4) **La zone de coquilles entassées**. 8—14 m. Cette zone se distingue par les nombreuses coquilles de *Valvata piscinalis antiqua* et par celles d'*Anodonta* et d'*Unio* dans la partie intérieure; çà et là on trouve un nombre considérable d'opercules de *Bythinia*. *Valvata piscinalis antiqua* est représentée par quelques individus isolés dans la partie intérieure de la zone et n'existe pas dans la partie extérieure.

5) **La zone profonde**. Les Pisidies sont les seuls Mollusques vivants. On trouve les coquilles vides de divers Gastéropodes, même de ceux qui n'habitent que la zone des *Scirpus-Pragmites*.

Cette division me paraît très admissible; pour ma part j'incline aussi à placer de 13—14 m. la limite extérieure de la zone de coquilles, pour les bancs submergés: »Store Banke« et »Lange Banke« je dirais même 15 m. (ou plus). Les animaux semblent aussi descendre plus bas sur ces bancs qu'ailleurs. Sur certains points je ne saurais pourtant me ranger de l'avis d'A. C. JOH. Je crois pouvoir soutenir que les Prosobranches l'importent sur les Pulmonés bien avant 5 m., quant au nombre des individus. A 3 m. déjà, dans le Lille Kalv



même à 2 m., les Prosobranches sont les plus nombreux. Pour tirer au clair cette question j'ajoute au texte un extrait de mes listes (voir p. 108). J'ai choisi 8 stations, et je pourrais en citer deux fois autant, toutes établies par 3 à 5 m., et montrant une pareille répartition des espèces. Dans aucune les Pulmonés ne sont les plus nombreux, et ils ne le sont nulle part sur la rive exposée. Dans les anses seulement, à l'abri des vagues, les Pulmonés prennent le dessus. De même je me permets de contester que *Valvata piscinalis antiqua* Sowb. ne se trouve qu'exceptionnellement dans la partie intérieure de la zone de coquilles et point du tout dans la partie extérieure. La partie intérieure doit être considérée comme allant de 8 à 10 ou 11 m. Or nous avons trouvé, dans presque toutes les stations établies dans cette zone, la *V. antiqua* en nombre variable, la plupart pourtant dans la moitié intérieure. Voir le tableau p. 109 dont les exemples sont choisis au hasard. *V. antiqua* existe vivante partout dans la zone des coquilles, jusqu'à 13 m.; elle est fréquente dans la partie intérieure, plus rare dans l'extérieure.

Sur la genèse des grands dépôts de Mollusques deux théories ont été émises. W.-L. pense que la grande majorité des coquilles proviennent de Mollusques ayant vécu sur l'endroit, et que des transports allant de la rive vers le centre du lac n'ont guère eu d'importance. A. C. JON., de son côté, veut que la plupart des coquilles aient été enlevées des zones intérieures et transportées vers la zone de coquilles. Cet auteur convient pourtant que dans la première partie de la zone, où les dépôts commencent à prendre le caractère de bancs de coquilles, ces dépôts — du moins en ce qui concerne les Bivalves — doivent provenir éminemment d'animaux ayant vécu sur l'endroit. D'autre part, les deux auteurs sont d'accord sur le transport qui se fait en sens inverse, certaines coquilles légères (celles des Linnées, de *Planorbis* et de *Neritina*) étant portées par les vagues et jetées sur la rive, surtout à certaines époques de l'année (printemps et automne).

En formulant sa théorie sur le transport des coquilles du côté de la rive vers le plein lac, A. C. JON. semble s'appuyer sur le fait que *Valvata antiqua* dont les coquilles forment l'élément essentiel des dépôts, n'existe pas vivante dans la partie extérieure de la zone et exceptionnellement dans la partie intérieure. D'après ce que nous venons d'exposer concernant la distribution bathymétrique de ce Gastéropode, cet argument ne pourra plus être allégué. Quant à *Unio* et *Anodonta* il semble au contraire difficile de supposer que leurs coquilles soient déposées dans les lieux où les animaux ont vécu. En effet, ces espèces n'existent pas vivantes dans la partie extérieure de la zone de coquilles, et même en admettant qu'*Anodonta* s'avancerait quelquefois un peu plus loin que la limite indiquée par moi (10—11 m.), on serait embarrassé d'expliquer la présence de la grande quantité de coquilles d'*Unio*, qui se trouvent à plusieurs endroits au dehors de l'aire des Unionidées, par 11—13 m. A la page 24—29 W.-L. a rendu compte des conditions spéciales qui ont déterminé le caractère de ces dépôts.

Tandis qu'il faut, je le présume, abandonner la théorie d'un transport considérable de coquilles ayant lieu sur le fond du lac, et allant de la côte vers le plein lac, on sait pour sûr qu'un transport dans cette même direction à lieu à la surface, dans le cas des coquilles légères (surtout les Pulmonés et *Bythinia*). W.-L. fait observer (1901, p. 73) que les Gastéropodes d'une certaine grosseur meurent en grand nombre au cours du printemps, et que leurs coquilles qui se remplissent de gaz pendant la putréfaction, nagent à la surface et sont portées vers la rive. Il y en a sans doute aussi qui sont emportées dans la direction opposée et qui coulent à fond en plein lac. En 1895 déjà, Brockmeier a fait de pareilles observations et constaté cette manière de transport pour les Pulmonés, les Branchifères et pour *Sphaerium*.

A. C. JON. (1902) nomme d'autres circonstances qui peuvent contribuer à ce transport vers le dehors; p. ex. il attire l'attention sur les coquilles vides, éparées sur la rive. Celles-ci, remplies d'eau, de sable ou de débris végétaux, sont capables de surnager; lorsque, enlevées de la rive par une crue des eaux, elles flottent à la surface, il se peut que le vent les emporte même assez loin. L'eau pénétrant peu à peu dans la coquille, l'air en est chassé, et elle coule à fond. De la même manière les légers débris végétaux peuvent être éloignées de la rive, on en trouve des quantités à certains endroits du fond. W.-L. (1901) constate qu'à la

hauteur de la forêt de Nørreskov, où la côte est assez élevée, on trouve par une profondeur de plusieurs mètres des entassements de feuilles, d'écaillés de bourgeons et de branchettes. Moi-même, au cours de mes dragages dans le Furesø, et plus spécialement dans le lac voisin, le Farum Sø, j'ai retiré de tels amas de débris végétaux, et j'y ai trouvé de même quelques coquilles de Gastéropodes terrestres: *Helicigona lapicida*, *Vallonia*, *Clausilia* et *Succinea*.

Le transport de Gastéropodes vivants à l'aide de végétaux flottants ou d'animaux (insectes aquatiques, écrevisses, oiseaux nageurs et échassiers) ou enfin par les glaçons flottants, est sans doute peu important. A. C. JOH. (1902) d'après H. W. KEW a donné un aperçu de ces modes de transport.

#### *État de conservation des coquilles déposées.*

Dans la zone de végétation les coquilles sont assez mal conservées, usées et corrodées, souvent à moitié dissoutes, exposées comme elles le sont aux attaques des racines et des algues. Les coquilles des grands dépôts sont blanches, souvent tout à fait crayeuses, de manière à se pulvériser facilement dans la manipulation. Ce phénomène de destruction se manifeste de la manière la plus claire dans les coquilles d'*Unio* et d'*Anodonta*. Nous en avons trouvé de très beaux exemplaires par 7-10 m., quelques cas isolés par 13 m.; on en trouve aussi dans les bancs de la région de végétation ( $3\frac{1}{2}$ - $5\frac{1}{2}$  m.).

Dans la partie extérieure de la zone de coquilles, et un peu en avant, les coquilles sont souvent transformées en globules de limonite brune. C'est surtout le cas pour les *Valvata*, *Neritina*, *Unio* et *Anodonta*, et — plus rarement — pour les *Bythinia* et les *Psidium*. Dans la même région se produit aussi un dégagement de minuscules grains de limonite pure. Nous devons à W.-L. la description détaillée et l'explication de ce phénomène intéressant. (Voir p. 30-34).

#### *Comparaison entre la distribution bathymétrique des Mollusques dans le Furesø et dans d'autres lacs européens.*

En étudiant les ouvrages qui traitent de la distribution bathymétrique des Mollusques on est frappé des différences qui se montrent, soit qu'on compare le Furesø avec les lacs des autres pays, soit qu'on compare ces lacs entre eux. Ainsi on s'étonne de voir que certains Mollusques, regardés en Danemark comme appartenant exclusivement à la région littorale, descendent dans plusieurs lacs de l'étranger jusqu'à 20-50 m., p. ex. *Valvata macrostoma* Steenb. dans le Vättern (21 m.), *Psidium amnicum* Müll. dans le lac de Zürich (50 m.) et *P. milium* Held dans le lac de Como (50); *Planorbis carinatus* a même été dragué par 80 m. dans le lac de Goktschai en Arménie. La raison en est probablement que le Furesø (et les autres lacs danois), comparé aux lacs nommés ci-dessus, est plus pauvre en oxygène, que ses eaux sont moins transparentes, et qu'il n'y a pas de courants de fond. La végétation s'étend également beaucoup plus loin dans les lacs suisses (25-30 m.) et dans le Vättern (30-50 m.) que dans les lacs danois, où elle cesse à 8 m. environ. — Il y a encore à remarquer que le Furesø ne possède aucune faune malacologique particulière à ses parties profondes (30-36 m.) et surtout qu'il n'a pas de Psidies abyssales spécifiques. Ceci est dû sans doute au fait que la région qui mesure plus de 30 m. n'est pas grande (voir sur la carte 5 l'espace limitée par la zone pointillée), de sorte qu'elle n'est guère différente des parties moins profondes en ce qui concerne la nature du fond, la température, les conditions de nourriture et la quantité d'oxygène.

Le lac de Ladoga est celui qui ressemble le plus au Furesø quant à la distribution bathymétrique des Mollusques, seule l'espèce *Sphaerium corneum* L. descend plus bas que dans le lac danois. Les lacs de Ratzeburg, dont les conditions naturelles paraîtraient assez semblables à celles du Furesø, ont ceci de particulier que tous les Gastéropodes descendent plus bas, tandis que les moules s'arrêtent à des profondeurs beaucoup plus faibles. Dans les trois lacs que je viens de nommer, tous les Mollusques (excepté les Psidies) se tiennent au-dessus de 13 (18) m. Autrement pour le Vättern, où la plupart des espèces n'apparaissent que par des profondeurs assez considérables, la région littorale étant exposée à une très forte

agitation des vagues que les Mollusques ne supportent guère. De l'autre côté elles s'étendent très loin (50 m.) sans se développer pourtant en des formes abyssales spécifiques. Ce phénomène est dû à la grande limpidité de l'eau et à sa richesse en oxygène. — Pour les lacs suisses nous ne possédons en général pas de notices sur la distribution bathymétrique des espèces littorales. D'autre part il y a d'amples renseignements sur l'intéressante faune profonde.

Les espèces d'où descendent les formes abyssales qui habitent les lacs suisses, existent pour la plupart aussi sur les bords du Furesö; comme Roszkowski (1914) je rapporte, en effet, *L. abyssicola* Brd. à *L. palustris* Müll., *L. profunda* Cless., *L. foreli* Cless. et *L. yungi* Piag. à *L. ovata* Drap. *Pisidium clessini* Surb. et *P. tornense* Odhn. (du lac Torneträsk) sont rapportés à *P. pusillum* Jen. [B. B. Woodward 1913] et *P. foreli* Cless. à *P. nitidum* Jen. [Zschokke 1900]. Quant aux autres *Pisidies* leur affinité avec les espèces littorales est encore douteuse.

D'une manière générale on peut dire que dans le Furesö comme dans les lacs suisses, les *Pisidies* augmentent en nombre avec la profondeur, tandis que la richesse en espèces va en diminuant. Dans le Vättern les choses sont différentes: la fréquence maximale du *P. pusillum* Jen., le seul qui habite le bassin lacustre proprement dit, se trouve à 60 m. (cette espèce peut descendre jusqu'à 120 m.), tandis que les autres *Pisidies* ne vivent qu'entre 15 m. et 40 m.

Aux pages 114—115 et 117 on trouvera des listes sur les distributions comparées des Mollusques du Furesö et de ceux des lacs de l'étranger. La première liste comprend les principaux mollusques, excepté les *Pisidies*; la seconde, les *Pisidies* seules. Nous n'avons énuméré que les espèces qui habitent le Furesö et les espèces qui leur ressemblent le plus.

## Chapitre VI. La faune du fond du Furesö.

Par C. WESENBERG-LUND.

La faune profonde des lacs baltiques n'a pas encore été l'objet d'une étude détaillée comme celles que nous possédons sur certains lacs grands et profonds. (ZSCHOKKE: le Lac des Quatre Cantons; v. HOFSTEN: le Lac de Thun et Brienz; FEHLMANN: le Lac de Lugano et EKMAN: le Vättern). Ce dernier ouvrage a paru au moment où nos recherches étaient terminées. La terminologie employée par les auteurs précités fait voir qu'ils ont étudié exclusivement des lacs grands et profonds; on ne peut pas directement se servir de la même terminologie quand il s'agit des lacs baltiques. Pour faire entrer ceux-ci dans le système général je proposerai, en suivant principalement Ekman, les divisions que voici: Le fond du lac est divisé en 4 régions: abyssale, profonde, sublittorale et littorale. La limite supérieure de la région abyssale doit être posée à 4—600 m.; elle descend jusqu'aux points les plus profonds qu'on ait mesurés dans les parties de la surface terrestre couvertes d'eau douce. Il n'y a guère de lac européen possédant une région abyssale. La faune de celle-ci n'est connue que dans les lacs de Baikal et de Tanganyika où KOROTNEFF et MOORE ont pu constater que la région abyssale est le centre de formation pour une riche faune spéciale dont la plupart des espèces n'existent que dans cette même région du lac en question.

La région profonde s'étend de 4—600 m. jusqu'à 50—20 m., elle comprend la plus grande partie du fond des lacs européens de grandeur considérable ou moyenne. Elle est l'habitat de la faune plus spécialement étudiée par les naturalistes que je viens de nommer.

A la première vue cette faune, comme l'a bien remarqué EKMAN, comprend beaucoup d'espèces particulières. Mais en examinant de plus près les listes des espèces, on reconnaît (et ici encore je me range de l'avis d'Ekman) on reconnaît le phénomène intéressant que les profondeurs au-dessus de 4—600 m. ne sont pas propres à devenir des centres de développement pour des formes nouvelles. Ces études ont eu pour objet, nous l'avons dit, des lacs européens, et la genèse relativement récente de tous ces lacs peut expliquer en quelque mesure ce phénomène.

Pour mon compte, j'ai pris part avec Sir JOHN MURRAY à des dragages sur les plus

grandes profondeurs du Loch Ness (250 m.), et par la complaisance de M. Zschokke et des autres naturalistes suisses j'ai eu l'occasion de faire quelques dragages dans le Lac des Quatre Cantons. Dans la première de ces localités on est frappé de l'extrême pauvreté en espèces et en individus, et dans la seconde, même si la faune est riche, les matériaux ramenés par la drague, loin de représenter un monde nouveau, ne nous montrent principalement que la faune de la région littorale, bien que sous des formes plus ou moins modifiées. Peut-être à l'exception des larves des Chironomides, il faut dire, je le pense, que, somme toute, une faune profonde proprement dite n'existe pas. Ce que la région profonde a de plus caractéristique, c'est, dans les lacs du Nord les formes relictées provenant de la mer, et, dans les lacs de l'Europe Centrale, la faune ténébreuse (*Asellus cavaticus foreli* et *Niphargus pulcanus*) qui provient des eaux souterraines.

La région sublittorale s'étend de 50–20 m. jusque vers la limite extérieure de la végétation. Cette limite varie dans les différents lacs; dans le Vättern, le Léman, le Lac de Constance et le Lac de Lugano la végétation s'avance jusqu'à 30–40 m.; dans les lacs de grandeur moyenne généralement à 15 m. ou à peine aussi loin. La limite extérieure de la région sublittorale est simplement celle des Mollusques moins les Pisidies; cette région est caractérisée par une richesse de Naiades, surtout *Unio*, et de Gastéropodes branchifères, surtout *Valvata*. C'est l'endroit où l'on peut rencontrer les phénomènes intéressants des dépôts de coquilles et de limonite brune.

La région littorale enfin va de la limite extérieure de la végétation jusqu'au niveau normal des eaux. On peut la subdiviser en zone où se brisent les vagues et zone des eaux tranquilles. Selon les groupes de végétation on peut en outre distinguer diverses zones: dans les lacs baltiques la zone de *Scirpus-Phragmites*, celle de *Potamogeton*, celle des plantes submergées, où les espèces dominantes sont les Characées et *Elodea*; enfin une faible zone de *Cladophoracées*.

Il faut croire qu'on trouve généralement dans un lac deux lignes bien marquées: la limite extérieure de la végétation et celle de la vie malacologique excepté les Pisidies. C'est ces lignes qui servent à distinguer les régions. Pour ceux qui ne connaissent que les grands lacs très profonds il paraîtra peu naturel de poser la limite de la région profonde vers 20 m. Mais dans les lacs baltiques, de profondeur moyenne (30 à 50 m.), c'est bien à 20 m. que le fond change de caractère; là commencent les plaines doucement inclinées, sans végétation, couvertes d'une vase très molle et qui ressemblent beaucoup plus qu'on ne croirait à la région profonde des grands lacs. L'eau de ces lacs baltiques étant peu limpide, l'obscurité y est aussi épaisse que dans les grands fonds ailleurs, et les courants profonds n'existant pas la tranquillité est peut-être plus complète encore. D'autre part, la température est plus élevée, baissant pourtant pendant de grandes parties de l'année jusqu'à 4 ou 6° C. et quant à la teneur d'oxygène, il y a grande différence, comme je vais le démontrer ci-après. Dans les lacs baltiques cette région est peuplée jusqu'à 20 m. d'une faune assez pauvre, mais somme toute semblable à celle de la région profonde des lacs profonds. En posant la limite supérieure à 20–50 m. je veux donc dire que le premier chiffre est valable pour les lacs baltiques, le second pour les lacs plus grands et plus profonds, où la profondeur atteint 100 m. ou plus.

Le Furesö comprend donc 3 régions: la r. littorale, qui va jusqu'à 7½ ou 8 m., la r. sublittorale de 7½ ou 8 à 20 m., et enfin la r. profonde, c'est à dire les plaines vaseuses sans végétation.

#### Région littorale.

La faune vivant dans la zone où les vagues se brisent, a été mentionnée dans un ouvrage antérieure (W.-L. 1908); dans les anses marécageuses et remplies de plantes, une riche vie animale se développe, à peine différente de celle des étangs. La zone de *Scirpus-Phragmites* ne possède pas de société animale particulière. C'est l'habitat préféré des grosses Linnées et peut-être de quelques Phryganées.



*La Faune du Furesö dans la zone de végétation submergée (4-8 m).*

La faune qui habite les zones de végétations submergées a été jusqu'à présent peu connue. Nous l'avons étudiée plus spécialement dans le grand golfe du Furesö, le Store Kalven, pendant deux années, en pêchant des échantillons toutes les 3 semaines, en hiver un peu moins souvent, si le lac était congelé. Après chaque pêche nous avons eu soin de mettre une partie des matériaux récoltés dans des aquariums où on les laissait, si nécessaire, pendant des mois entiers. Le milieu étudié était donc les grandes plaines submergées qui constituent le plancher du Store Kalven dans toute son étendue, et en outre une zone large d'environ 10 m. qui entoure le lac entier. Dans la saison estivale, les plantes des végétations uniformes atteignent souvent plus d'un m. de hauteur (*Tolypellopsis*, *Elodea*). Dans la saison hivernale, la végétation voisine de la rive dépérit, tandis qu'elle se maintient en vigueur par 5-7 m. Les feuilles vertes, pliantes, fortement incisées de ces plantes servent de support à la faune de cette région. Sous la végétation, le sol est gris-blanc; il consiste en grande partie de calcaire sédimenté, provenant des Mollusques, de Characées et de l'encroûtement qui s'attache aux Potamogeton, etc. Cette vase, fortement puante, contient des masses énormes de fragments de tiges de Characées, de fruits de Chara, d'opercules de Bithynia, d'Ostracodes et de Pisidies. La partie du fond couverte de végétation est à la partie nue comme 2 à 5. Dans l'énumération suivante nous n'avons pas pris en considération les infusoires ni les Rhizopodes.

**Spongozoa.** *Spongilla fragilis* trouvé une fois par 7 m.; comme il n'y avait pas de *Gemmula*, la détermination de l'espèce est douteuse.

*Ephydatia fluviatilis*. Ça et là dans le Store Kalven, par 4 m., mais surtout au bord extérieur de la région de *Scirpus-Phragmites*.

**Hydrozoa.** *Hydra vulgaris*. Commun dans toute la région et pendant toute l'année; surtout par 4 m.

**Vermes.** *Turbellaria*. Par 4-7 m. nous avons trouvé beaucoup de *Turbellaria Rhabdocoela* que nous n'avons pas déterminés plus spécialement. A la p. 142 nous avons cité la liste que BKINGMANN a dressée des *Turbellaria* du Furesö. Parmi les *Dendrocoela* il faut remarquer *D. punctatum* qui habite principalement la zone pierreuse sur les côtes exposées; on le trouve pourtant aussi dans le Store Kalven et sur les bancs submergés.

*Rotifera*. Une faune spéciale de R. n'a pas été constatée par 4-7 m. Voir la liste p. 143.

**Bryozoa** *Cristatella* est rare. Jusque par 15 m. on trouve les moules couvertes des statoblastes du *Plumatella*; celles-ci sont toujours mortes, je n'en ai jamais vu de colonies vivantes.

**Oligochaeta.** Voir à la p. 143 la liste des espèces.

**Hirudinea.** *Piscicola geometra* est extrêmement commun par 4-7 m. Ses coques oblongues, striées de brun, se trouvent fixées aux plantes aquatiques. En aquarium, les *Piscicoles* se tiennent des heures entières, raides comme des baguettes agglutinées contre les parois de verre, mais si un poisson s'en approche, elles se jettent immédiatement sur lui. Si on en approche le point de son crayon, elles se retirent. Un animal qui est resté longtemps sans nourriture s'attache à n'importe quel objet qui se présente.

*Nepheleis*. Le frai est extrêmement commun au commencement de l'été; en hiver, les N. n'apparaissent pas, mais leurs coques adhèrent en masse sur les pierres de la zone littorale. Jusque par 8-10 m. les moules sont couvertes de coques mortes.

**Crustacea.** *Copepoda* et *Ostracoda* voir p. 144.

**Cladocera** voir p. 145. Ici j'ai seulement à remarquer: *Sida crystallina*, forme principale en tout cas jusque par 5 m. Cette espèce n'apparaît que vers la fin de mai; nombre d'œufs en été 10-12; période sexuelle au mois de septembre; vers la fin de ce mois, propagation sexuelle à côté de la propagation parthénogénétique, 6 ou 7 œufs d'hiver; en octobre, tous les individus ont des organes sexuels; en novembre, on ne trouve que des femelles stériles; en janvier l'espèce a disparu.

*Simocephalus vetulus*, au commencement de septembre en nombre immense; par 4-7 m.

il semble être acyclique; je n'ai jamais vu d'éphippies. 8 à 12 œufs en été, 2 ou 3 en septembre. *Ceriodaphnia pulchella* a un grand maximum en septembre, période sexuelle dans le même mois; le nombre des œufs parthénogénétiques ne dépasse guère 4. Les éphippies se trouvent en nombre immense parmi le détritus hivernal qui couvre le rivage. *Eurycerus lamellatus*; prédominant en septembre et octobre. En été, le nombre des œufs monte jusqu'à 20, plus tard il diminue; les éphippies, de couleur brune, contiennent 5 à 7 œufs; on les trouve en masse, déposées au hasard, dans la vase. C'est la forme principale pendant la saison d'hiver. *Camplocercus rectirostris* fait défaut dans les échantillons pris en été; c'est la forme principale en sept.—oct. Nombre d'œufs très petit (1 ou 2); période sexuelle en octobre; 1 œuf d'hiver; l'espèce semble disparaître en hiver.

*Isopoda*: *Asellus aquaticus* commun jusque par 4 ou 5 m.

*Amphipoda*: *Pallasiella quadrispinosa* partout dans la végétation submergée. *Gammarus pulex* commun dans le fond, mais seulement jusque vers 4 m.

*Decapoda*: *Astacus fluviatilis*, un seul individu pris par 4 m.

*Insecta*. *Perilida*, la larve de *Nemura avicularis*, forme assez rare, peut-être jusque vers 4 m.

*Epheméridae*: Les larves de *Cloëon* jouent un rôle considérable dans les plaines submergées du Store Kalven. L'espèce est *Pseudocloëon bifidum* Bgt. Les larves de *Cænia* vivent sous la végétation dans la vase molle; elles sont très communes. *Ephémère vulgata*, la larve vit dans la vase molle du fond nu; on la trouve jusque par 7 m. au moins. Le soir, en été, les images volent en grand essaim le long du rivage.

*Odonata*: Jusque par 4 m. on ne trouve pas d'Anisoptères. La larve de *Gomphus vulgatissimus* ne s'avance probablement pas au delà de 1 m. Les larves de Zygoptérides, *A. pulchellum* et *puella*, et surtout les larves des formes rares *A. hastulatum* et *lunulatum* se trouvent au contraire en nombre immense sur les forêts d'algues vertes du Store Kalven; elles sortent de l'œuf dans la période entre le 15 juin et le 10 juillet. Les échantillons pris vers la fin de l'été se distinguent toujours des échantillons pris en hiver, en ce que les larves de Zygoptérides manquent et qu'il y a peu ou point d'Ephémérides.

*Hemiptera*. Par 4—7 m. on pêche souvent des espèces appartenant aux *Corixa*; encore au mois de janvier on en rencontre dans des échantillons pris par 1—1½ m.

*Neuroptera*. La larve du *Sialis* dépasse de loin la limite de la végétation; c'est un carnassier caractérisé, se nourrissant probablement surtout des larves de chironomides. La larve du *Sisyr* n'a pas été trouvée sur les Spongilles par 4—7 m.

*Trichoptera*. Les étuis des *Hydroptila* sont souvent fixés sur les Characées, par 4—5 m. Les quatre espèces danoises vivant toutes dans le Furesø, il faut croire qu'on peut rencontrer les larves de toutes les 4 espèces dans la région dont il s'agit ici.

*Orthotrichia telensii* assez commun sur les tiges du *Potamogeton lucens*. *Oxyethira costalis* est un des animaux caractéristiques des prés submergés; on le trouve souvent en nombre immense. En aquarium ses larves filent en commun de grosses toiles, dans les fils desquelles le plankton est capturé; les larves rampent le long des fils le dos tourné en bas. Les quatre larves congénères *Cyrrus flavidus*, *Holocentropus dubius*, *Polycentropus flavomaculatus*, *Neureclipsis bimaculata* habitent chacune une partie différente du lac; *Cyrrus* fourmille sur les tapis de Characées et à la base des feuilles du *Potamogeton*, *Holocentropus* file ses toiles dans les anses peu profondes, *Polycentropus* habite la zone où les vagues se brisent, et *Neureclipsis* se tient dans l'affluent du lac. Toutes ces espèces sont mentionnées dans mes Études sur les Phryganides (1911). *Tinodes vœneri* est rare dans le Furesø, on le trouve le plus souvent près de la rive. *Phryganea striata* et *varia* vivent jusque par 4 ou 5 m. *Molanna angustata* est un des animaux caractéristiques, non seulement de la zone la plus basse de la végétation submergée, mais encore de la région attenante, jusque par 9 m. Ici il construit généralement son étui d'opercules de *Bithynia*. Les œufs sont déposés en boules rondes sur les plages de sable. Dans le Vättern, EKMAN a pêché des *Molanna* jusque par 15 à 19 m. — *Mystacides nigra* et *longicornis*; c'est en petit nombre seulement que j'en ai trouvé les larves, fait assez étrange, comme les insectes développés volent en nuées épaisses sur le lac.



*Leptocerus*. Bon nombre de larves de Leptocéridés se tiennent constamment par 4 à 7 m.; *L. fulvus* est très commun, il ronge des trous dans les Spongilles. *Limnophilus flavicornis* et d'autres espèces sont assez communs même par 5-7 m. Ils construisent leurs écus des coquilles de Valvata. *Anabolia nervosa* et *lavis* vivent de préférence vers le bord extérieur de la région des Phragmites. Il arrive qu'ils se détachent de leur point d'appui, et ils s'égarent alors sur les prés de Characées.

*Lepidoptera*. Par 3 à 4 m. on rencontre souvent la chenille du *Paraponyx stratiolata*. *Acentropus niveus*, dans sa forme non-aillée, est éclos de la chrysalide, nous l'avons pris sur les feuilles du *Potamogeton lucens* et *perfoliatus*.

*Coleoptera*. *Heironia equiseti*. Commun partout dans la zone de 4-7 m.; ses chenilles blanches adhèrent en nombre immense sur les racines du *Myriophyllum*; ses chrysalides sont fixées en longues séries sur les rhizomes de diverses plantes. L'imago lui-même est un animal fort inerte, ne monte presque jamais à la surface. Брюснер a expliqué sa manière de respirer.

*Amalus leucogaster*. Ce petit charançon vit sur le *Myriophyllum*; d'après Брюснер, la larve vit en minant dans les tiges. Le cocon, ressemblant à celui des Donacées, adhère contre les feuilles du *Myriophyllum*, près des pointes qu'on voit alors toujours tronquées et noires; il est toujours, je le crois, placé tout près de la surface. L'imago nage, mais d'une manière gauche, rampante. On le voit à la surface de l'eau; son existence d'hiver n'est pas connue. *Platambus maculatus*: Sur les prés submergés, par 4 m., on trouve une larve d'*Agabus* qu'on peut, je pense, classer dans cette espèce. L'imago est très commun, surtout dans la saison d'hiver, on le trouve sur la rive, sous les pierres ou entre écorce et bois. *Hydroporus*. Plusieurs espèces vivent par 4-7 m. Les larves apparaissent de temps en temps en grand nombre; elles mènent probablement une vie fouissante dans la vase. *Haliphus*. Deux ou trois espèces vivent par 4-7 m. Les larves sont très apatiques; elles tiennent longtemps immobile leur corps raide, muni d'aspérités, semblable à une baguette. La larve de l'*Orechtochilus*, jusqu'ici très peu connue, est au mois de septembre très commune dans la zone du *Potamogeton lucens*. Ces jolies larves blanches sont d'excellentes nageuses, différant en cela des larves peu mobiles du *Gyrinus* qu'on trouve près de la rive. Les cocons de l'*Orechtochilus* ne sont pas connus.

*Diptera*. Une quantité énorme de larves de Chironomides habitent cette zone; cette famille fera l'objet d'une étude plus approfondie, étude rendue possible par les travaux de THINEMANN et de ses élèves. Les larves de culicidés ne se trouvent pas ici, mais les larves de *Ceratopogon* se rencontrent.

*Hydrachnidæ*. La liste donnée à la p. 154 a été dressée par M. SIG. THOR et M. PEDERSEN. Ici je ferai seulement observer qu'à toute saison les moules contiennent des larves parasites d'*Hydrachna* (*Atax*). Dans le plankton, tant dans les couches profondes de la région pélagique qu'au-dessus de la végétation de la région sub-littorale, *Atax crassipes* se trouve en grand nombre. Dans les étangs, j'en ai souvent vu de jeunes exemplaires parasitant sur les Spongilles, fait constaté également par SOAR et MICOLETZSKY. Dans le Furesö je n'ai jamais vu des Hydrachnides à l'état de parasites sur les Spongilles.

*Mollusca*. Une liste est donnée à la p. 155; en outre je renvoie au chapitre rédigé par Steenberg.

La société animale que nous venons d'esquisser est en réalité bien différente de celle qui peuple les petits lacs et les étangs. A la p. 156 j'ai donné la liste des formes qui paraissent particulièrement caractériser la région de 4-7 m. dans les lacs de quelque étendue. Beaucoup des espèces sont regardées comme rares, ou elles ont été déterminées il y a peu de temps. Chez les animaux appartenant à cette société on reconnaît quelques traits communs qui les caractérisent. Leur couleur est généralement verte ou striée de vert (Chironomides, *Pallasiella*, *Piscicola geometra*, Phryganes, Ephémérides, larves de Zygoptérides). Les teintes brunes et grises qui distinguent la faune saxicole, sont rares ici; on ne les retrouve que chez les espèces limicoles (*Gammarus*, *Caenis*, *Sialis*). Les animaux ont en général un corps mou et faible, peu résistant; les tubes des Phryganes sont minces. Le mouvement des

vagues est modéré; les conditions de milieu ne changent pas beaucoup de saison en saison, d'où il résulte que les différents organes de repos (Gemmulae, Statoblastes, œufs d'hiver, etc.), ne se produisent généralement pas. Dans les Spongilles et les Hydres on n'a pas trouvé de Gemmules ni d'œufs d'hiver. Le *Simocephalus* est acyclique. Nous ne saurions expliquer l'existence des séries de statoblastes apparemment très anciennes qu'on trouve fixées sur des coquilles de moules même par 10—15 m. Chez beaucoup des espèces la mobilité est plus grande que chez des formes congénères qui vivent près du rivage (*Pallasiella*, *Orechtochilus*, les larves très agiles du *Cloëon*). La profondeur de l'eau rend les conditions de vie peu favorables pour les espèces qui ont besoin de l'air atmosphérique, donc les dytiques, les hydrophiles, les hydromètres et les *Agyroneta* manquent presque complètement. La plupart des espèces ont une respiration cutanée, soit diffuse, soit confinée à certaines parties de la peau. Les Gastéropodes pulmonés se servent de la cavité pulmonaire comme de branchies; en outre ils respirent par la peau. Les *Hemonia* et la larve du *Platambus* ont une manière de respirer toute spéciale.

#### Région sublittorale ( $7\frac{1}{2}$ ou 8—20 m).

Cette région comprend les dépôts de coquilles et de limonite pisolithe. C'est une région remarquablement peu animée. La vie animale de la zone littorale s'éteint en grande partie à la limite extérieure de la végétation. Ce n'est que les grosses moules, *Valvata piscinalis*, *Bithynia tentaculata*, *Dreissensia* et les Pisidies qui s'avancent dans la région sublittorale. On y trouve encore *Pallasiella*, *Piscicola geometra*, *Eurycerus* et peut-être quelques autres Lynceides, quelques Ostracodes, les larves du *Sialis*, des *Molanna*, une espèce des Limnophilides et peut-être la larve du *Caenis*. Le nombre des individus est petit comme celui des espèces.

#### Région profonde.

A la page 159 nous avons donné la liste des espèces vivant dans cette région.

*Crustacea*. Ici je ferai seulement observer que malgré des recherches minutieuses nous n'avons pas pu constater l'existence des cystes dont certaines espèces de *Cyclops* et de *Canthocamptus* s'enveloppent, dit-on, dans d'autres lacs. (LAUTERBORN et WOLF, JUDAY). Pour ma part, j'expliquerais ces cystes comme un moyen de protection plutôt contre la pauvreté d'oxygène estivale que contre une température trop élevée. *Pontoporeia affinis* pendant la moitié chaude de l'année est confiné à la région profonde; dans la saison froide elle apparaît, de même que *Pallasiella*, dans la zone des coquilles.

*Mysis relicta*. La biologie de la forme trouvée dans le Furesö correspond exactement aux renseignements donnés par SAMTER et WELTNER pour l'espèce vivant dans le Madüsee. En été, *Mysis* vit dans les grands fonds où on ne trouve pas d'individus adultes, à l'approche de l'hiver il monte vers la région littorale où des essais de ces crustacés passent sur les près submergés. Ici on trouve des femelles à sac ovigère.

*Hydracarina*. Un très petit nombre d'espèces ont été signalées (voir p. 161).

*Insecta*. Parmi les Chironomides on ne trouve que les larves appartenant aux genres *Chironomus* et *Tanytus*. Ce sont les formes principales de cette région. En aquarium on peut observer les petits entassements d'excréments que forment les Chironomides et d'où des galeries descendent dans la vase du fond; les parois des galeries sont de couleur jaune. Les larves des Chironomides ont une grande importance comme nourriture pour les Cyprinides surtout en hiver. Les nymphes montent verticalement à travers l'eau, leur transformation a lieu à la surface. La ponte a lieu en plein lac, au-dessus de la région pélagique. Au cours de l'été le fond du lac est presque vidé de larves. Avant l'hiver, la nouvelle génération de larves a presque atteint sa grandeur maximale.

*Mollusca*. On a signalé quelques espèces de *Pisidium* (p. 162) et en outre *Dreissensia*. Ce dernier ne présente pourtant que des individus tout jeunes, on les trouve jusque par 30 m. Il est douteux si l'animal peut vivre longtemps sur le limon où il ne trouve nulle part des supports solides.

En comparant la faune profonde du Furesö avec celle du Lac des Quatre Cantons, décrite par ZSCHOKKE, celle des lacs de Thun et Brienz, décrite par v. HOFSTEN, et celle de Vättern, décrite par EKMAN, nous sommes frappés de sa pauvreté. La région profonde de notre lac, bien que nous comptions son étendue jusqu'à la courbe de 20 m., ne connaît ni *Hydra*, ni Spongilles, ni Isopodes, ni Tricladés, Hirudinées, Bryozoaires; les Cladocées y existent à peine; de Mollusques il n'y a que *Pisidium* et peut-être *Dreissensia*; les autres groupes sont représentés par remarquablement peu d'espèces. Depuis 20 ans, beaucoup de spécialistes ont étudié les parties profondes du Furesö, et chacun, pour ce qui regarde son étude spéciale, est arrivé au même résultat. ZSCHOKKE a démontré que si le lac des Quatre Cantons, dans sa région profonde, est riche en espèces, c'est un trait qu'on retrouve dans les autres grands lacs de l'Europe Centrale; d'autre part, les études que j'ai poursuivies dans mon pays m'ont appris que tous nos lacs de quelque étendue ont une faune profonde aussi pauvre que le Furesö. En comparant cette faune plus spécialement avec celle du Vättern, nous arrivons au résultat suivant: EKMAN divise la faune du Vättern en trois groupes, la f. littorale-sublittorale, la f. sublittorale-profonde et la f. eurybathique. Le premier groupe, qui descend dans le Vättern jusqu'à 40—50 m., en dépassant la végétation, s'arrête dans le Furesö à 7—8 m., limite où cesse aussi la végétation. C'est précisément cette limite extérieure de la végétation que ne dépassent pas la plupart des groupes d'animaux que la région profonde du Furesö ne possède pas. Parmi les espèces appartenant au groupe que nous venons de nommer il n'y a guère que *Pallasiella*, *Sialis*, *Molanna*, *Piscicola*, *Valvata piscinalis* var. *antiqua* qui dépassent la végétation; on les rencontre jusque par 15 m. environ. Ici se pose un problème assez singulier. Si ces espèces peuvent vivre en dehors de la végétation, pourquoi ne descendent-elles pas beaucoup plus loin dans le Furesö? Dans le Vättern, on trouve des *Valvata* jusque par 30 m. Pourquoi dans nos lacs, si riches en calcaire, les Limnées ne dépassent-elles pas les 7 ou 8 m., tandis que dans les lacs suisses elles s'avancent assez loin dans la région profonde. Chez nous aussi les grosses limnées qui vivent par 7 ou 8 m. ne montent probablement jamais à la surface pour respirer. — De même pour la faune eurybathique, celle qui est le moins susceptible des variations de température: dans le Vättern, elle s'avance dans la région profonde; dans le Furesö, elle ne dépasse pas 7 ou 8 m. En étudiant dans le Furesö l'occurrence des représentants des groupes littoral-sublittoral et eurybathique, on gagne nécessairement la conviction que quelque circonstance particulière empêche les animaux de s'étendre sur les plus grandes profondeurs du lac. Le dernier groupe d'Ekman: la faune sublittorale-profonde, qu'on pourrait croire n'existait pas dans le Furesö, est précisément celui qui est relativement le mieux représenté (voir p. 166). Ces faits intéressants demandent une explication.

Il semble que les conditions de vie soient bien moins favorables sur le fond des lacs baltiques que dans les lacs grands et profonds; seules les espèces profondes bien caractérisées sont capables d'y exister, la vie des autres est bornée à des profondeurs bien moins considérables (Pour ce qui regarde les Chironomidés, la question n'est pas encore élucidée, mais des recherches se font actuellement).

Le problème que nous venons de poser peut, je le pense, se résoudre de la manière suivante: En 1912, il fut constaté que sur les plus grands fonds du Furesö l'eau ne contient que  $\frac{1}{10}$  ou  $\frac{1}{16}$  de la quantité d'oxygène qu'elle contient à la surface. Pour d'autres lacs baltiques un résultat presque analogue a été obtenu par HALBFASS, SCHICKENDANTZ, FREIDENFELT; dans certains lacs l'oxygène disparaît même complètement pendant l'été. A en juger par quelques analyses faites par DELEBECQUE, HOPPE-SEYLER et EKMAN, on pourrait supposer que dans les lacs profonds l'oxygène ne diminue pas sensiblement pendant l'été. C'est les grands travaux de BURGE et JUDAY sur les lacs d'Amérique, publiés en 1911—1914, qui ont mis en évidence la différence qui existe dans la chaude saison entre la teneur d'oxygène au fond des lacs qui mesurent 30—40 m. et dans ceux qui mesurent 70 m. et plus. Et ces résultats sont en concordance parfaite avec les études importantes de Thinemann sur les »Eifelmaar» (Lacs volcaniques dans les montagnes Eifel) 1915. A la p. 170—172 nous avons rendu compte de tous ces ouvrages.

Pendant les périodes de stagnation, la quantité d'oxygène diminue au-dessous de la thermocline; les couches d'eau stagnante ne reçoivent aucun nouveau supplément d'oxygène, et les organismes vivants non moins que la décomposition progressive des organismes morts absorbent l'oxygène que contenait l'eau. Dans les petits lacs dont les masses d'eau superposées sont peu considérables, qui sont situés dans un terrain fertile et qui contiennent beaucoup de plankton, l'oxygène est presque entièrement consommé pendant l'été; dans les grands lacs profonds, aux énormes masses d'eau stratifiées, la consommation de l'oxygène est peu importante, surtout si les lacs sont situés dans des pays montagneux et s'ils contiennent peu de plankton. Les conditions de respiration sont donc bien meilleures dans la région profonde des grands lacs profonds.

Voilà, je pense, la cause de la pauvreté d'espèces qui caractérise la région profonde des lacs baltiques, comparée à la richesse que présente la même région dans le Vättern et dans les grands lacs de l'Europe Centrale.

JUDAY vient de démontrer (1915) que dans les lacs tropicaux (Amérique Centrale), la quantité d'oxygène est par toutes les profondeurs moins grande que dans les lacs de l'Amérique du Nord. Par la connaissance encore assez restreinte que nous avons de la faune lacustre des invertébrés tropicaux, nous recevons nécessairement l'impression que la richesse et la variation qui distinguent la vie animale des mers et des pays tropicaux, ne se retrouve pas dans les lacs de cette zone. Il semble que la vie des animaux inférieurs se déploie le plus abondamment dans les lacs de la zone tempérée. Cette théorie peut être erronée, mais si elle est correcte, le fait qu'elle établit peut s'expliquer comme suit.

De même que les lacs arctiques doivent la pauvreté de leur vie animale à la pénurie de nourriture, ainsi les difficultés de respiration contribuent à la pauvreté relative des lacs tropicaux. La température élevée et la quantité énorme de matières organiques en décomposition sont des phénomènes qu'on retrouve partout dans cette zone, ce qui permet d'attribuer une valeur générale aux résultats obtenus par Juday, du moins quand il s'agit des petits lacs à profondeur moyenne.

Si l'on compare la faune profonde des lacs danois avec celle qui peuple le fond de nos mers, on est de nouveau frappé de la pauvreté d'espèces de nos eaux douces. La plus grande particularité c'est qu'à l'exception des Amphipodes et des Isopodes, ce sont presque exclusivement des organismes très petits qui habitent le fond des lacs. Seuls les bassins qui mesurent plus de 600 m. possèdent des formes plus grandes (Amphipodes, Gastéropodes prosobranches etc.). Il est également remarquable que la faune profonde lacustre soit si peu adaptée à capturer «la pluie nourricière tombant d'en haut». Presque tous les animaux manquent de couronnes tentaculaires propres à capturer cette pluie; on n'en connaît que chez la *Frédéricelle*, et celle-ci, dans sa forme profonde, ne vit que dans les lacs très profonds; on ne l'a pas constatée dans les lacs baltiques. Les diverses formes de tentacules dont les animaux vivant au fond de la mer se servent pour capturer le détritus, sont presque inconnues chez les espèces lacustres. Sur cette question nous renvoyons au beau travail de BLEGVAD. Le manque de carnassiers est également remarquable; la région profonde des lacs baltiques n'en a guère que les larves du *Tanypus*, et les Hydrachnides qui ont très peu d'importance.

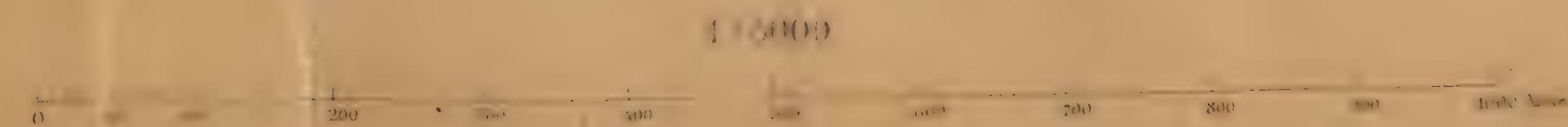
# Signaturplan

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | <i>Batrachium circinnatum</i><br>(Libth.) Fr.             |  | <i>Potamogeton crispus</i> L.                  |
|  | <i>Ceratophyllum demersum</i> L.                          |  | — " — <i>lucens</i> L.                         |
|  | <i>Chara</i> sp.  |  | — " — <i>natans</i> L.                         |
|  | <i>Cladium Mariscus</i> (L.) R. Br.                       |  | — " — <i>pectinatus</i> L.                     |
|  | <i>Helodea canadensis</i> Rich.                           |  | — " — <i>perfoliatus</i> L.                    |
|  | <i>Equisetum limosum</i> L.                               |  | <i>Scirpus lacuster</i> L.                     |
|  | <i>Hydrocharis morsus rance</i> L.                        |  | <i>Sparganium ramosum</i> (Huds. Beeby.)       |
|  | <i>Myriophyllum spicatum</i> L.                           |  | — " — <i>simplex</i> Huds.                     |
|  | — " — <i>verticillatum</i> L.                             |  | <i>Stratiotes aloides</i> L.                   |
|  | <i>Nuphar luteum</i> (L.) Sm.                             |  | <i>Tolytelopsis stelligera</i> (Bauer) Migula. |
|  | <i>Nymphaea alba</i> L.                                   |  | <i>Typha angustifolia</i> L.                   |
|  | <i>Phragmites communis</i> Trin.                          |  | <i>Utricularia vulgaris</i> L.                 |
|  | <i>Polygonum amphibium</i> L.                             |  | <i>Nitella</i> sp.                             |
|  | <i>Hypnum</i> sp. eller <i>Fontinatis antipyretica</i> L. |  |  |





Plan I. **BASTRUP SØ**  
*Søens Vandspejl ligger 29 Meter over Havet.*

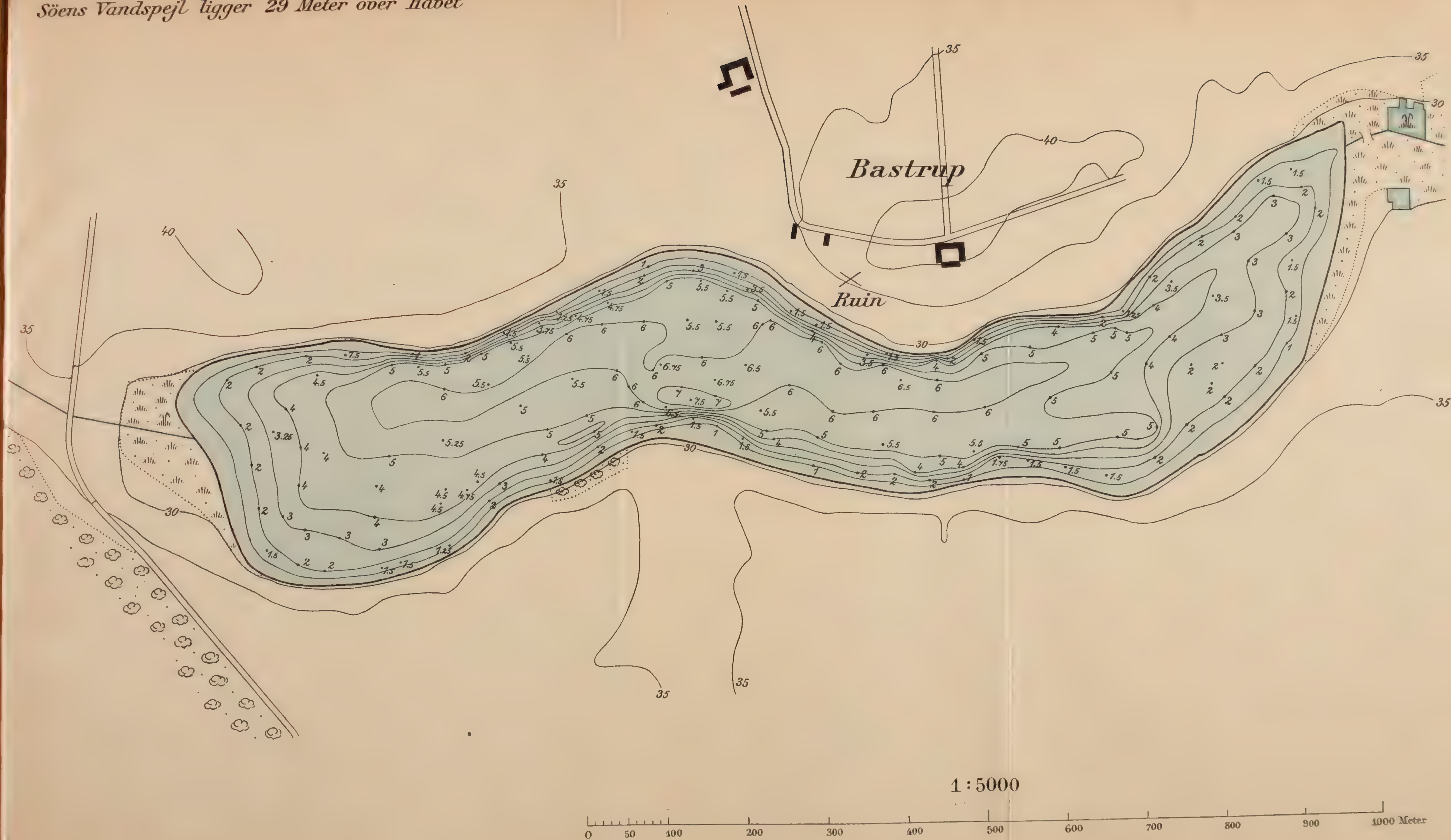






# Plan I A. BASTRUP SÖ

Söens Vandspejl ligger 29 Meter over Havet







Plan II A. FARUM SÖ  
Plan II B. FARUM SÖ

1:5000

0 10 Meters Scale  
More and 10 Meters Scale

Farum



Trastekov





Plan II A. FARUM SÖ  
Söens Vandspejl ligger 20 Meter over Havet

1:5000

0 50 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 Meter

0-10 Meters Dybde  
Mere end 10 Meters Dybde







1:10000

0 10 Meters Dybde  
10 20  
20 30  
Over end 30 Meters Dybde

Stavnsholt

STORRE KALVI

Næset

Den punkterede Linie angiver Vegetationens Ydergrænse = c. 7½ m.

NÖRRESKOV

Aasevang

Bagsøvej 85

Rudersdal Kro

Østland

Østland

Næset

Østland

Surevskjøl

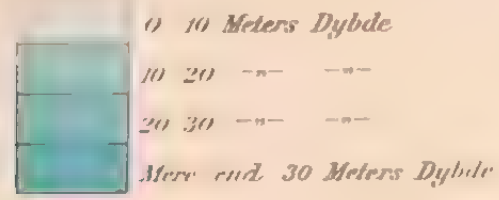






Plan III-IV A. FURESÖ  
Söens Vandspejl ligger 20 Meter over Havet

1:10000









1:5000

0 200 400 500





Plan VA. **BAGSVÆRD SÖ**  
*Söens Vandspejl ligger 18 Meter over Havel*



1:5000

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 Meter

25 **Bagsværd**



Flan VI B<sub>1</sub>. LYNGBY SÖ





Plan VI B 2. **LYNGBY SÖ**

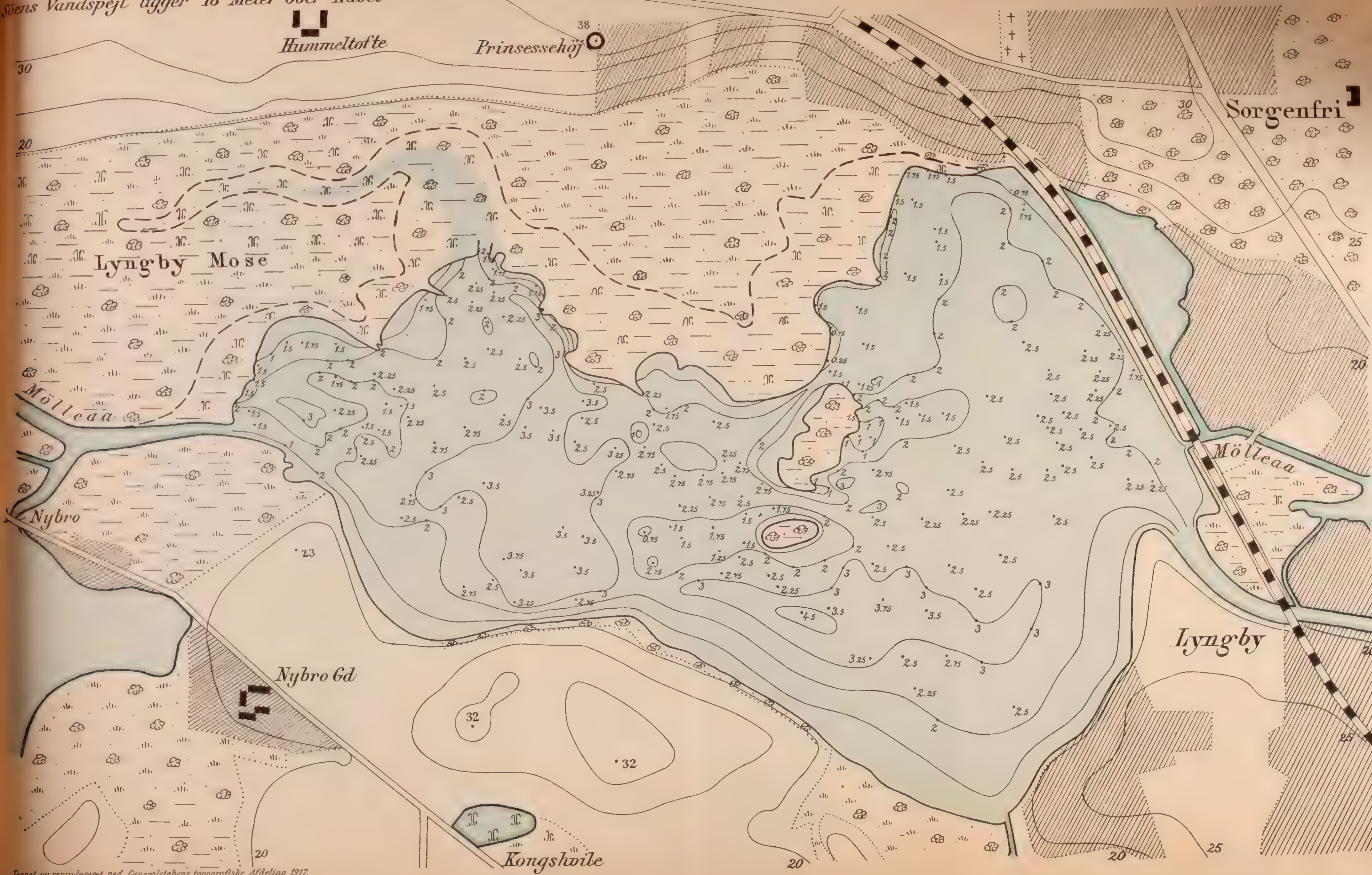
*Hummeltöfte*





Plan VI A. **LYNGBY SÖ**  
*Söens Vandspejl ligger 18 Meter over Havet*

1:5000









# STOFSKIFTE VED SJÆLELIG VIRKSOMHED

AF

ALFR. LEHMANN

*WITH A RÉSUMÉ IN ENGLISH*

D. KGL. DANSKE VIDENSK. SELSK. SKRIFTER, NATURVIDENSK. OG MATH. AFD., 8. RÆKKE, III. 2



KØBENHAVN

HOVEDKOMMISSIONÆR: ANDR. FRED. HØST & SØN, KGL. HOF-BOGHADEL

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1918



## INDLEDNING

Ved de Undersøgelser over „Stofskifte ved psykisk Arbejde“, som BECKER og OLSEN i sin Tid udførte i Universitetets psykofysiske Laboratorium<sup>1)</sup>, fandt de, at der under det aandelige Arbejde udaandedes en betydelig større Kulsyre-mængde end i Hvile. Ligeledes blev der tilvejebragt en ikke ringe Sandsynlighed for, at i hvert Fald en Del af Kulsyreforøgelsen ikke skyldtes en Udluftning af Organismens Lager af Kulsyre, men hidrørte fra selve Arbejdet<sup>2)</sup>. Noget afgørende Bevis herfor lykkedes det dog ikke BECKER og OLSEN at føre. Det henstaar derfor endnu uafgjort, ikke blot hvormeget Stofskiftet virkelig forøges under de forskellige Arter af psykisk Virksomhed, men ganske særlig hvor stor en Del af den stedfindende Stofskifteforøgelse der maa skrives paa Nerveprocessernes Regning. Det er nemlig forlængst fastslaaet, at al sjælelig Virksomhed er ledsaget dels af Forandringer i Aandedræt, Hjerteslag og Blodkarrenes Vidde i forskellige Organer, dels af Spændinger i Ansigtets Muskulatur. Alle disse legemlige Processer maa nødvendigvis medføre Forandringer i Stofskiftet, saa at i hvert Fald kun en vis ubekendt Brøkdel af den fundne Forøgelse kan skyldes Centralorganets Arbejde<sup>3)</sup>. Medens det i praktisk Henseende er af den største Interesse at faa Klarhed over, hvilken Indflydelse aandelig Virksomhed har paa Organismens Stofskifte, vil det især have teoretisk Betydning at faa afgjort, hvilken Andel Centralnervesystemet har i Stofskifteforøgelsen<sup>4)</sup>. Der er saaledes al mulig Anledning til at søge en Løsning af de Problemer, som de to nævnte Forfattere lod henstaa uløste. Det har imidlertid ikke været mig muligt at tage denne Opgave op, før Laboratoriet var kommet i Orden i de nye Lokaler. Saasart dette var sket, og de fornødne Apparater tilvejebragte, blev Undersøgelserne paabegyndt, i April 1917.

Der er to Maader, paa hvilken man kan bestemme den faktiske Forøgelse af Stofskiftet under det aandelige Arbejde. Den ene bestaar i at maale ikke blot den udskillede Mængde Kulsyre, men ogsaa den optagne Iltmængde. Udføres de sidst-

<sup>1)</sup> Kgl. danske Vidensk. Selskabs Skrifter, 7. Række, naturv. og matem. Afd. XI, 1. København 1913.

<sup>2)</sup> Anf. Skr. S. 70 o. f.

<sup>3)</sup> LEHMANN: Hauptgesetze des menschl. Gefühlslebens. 2. Aufl. Leipzig 1914, S. 398.

<sup>4)</sup> HELLFACH: Was heisst „Stoffwechsel bei geistiger Arbeit“? i Zeitschrift für angewandte Psychologie, Bd. 6, S. 564.

nævnte Maalinger saavel i Hvile som under Arbejdet, vil Differensen mellem de fundne Værdier give den af Arbejdet medførte Forøgelse af den optagne Iltmængde. Denne Iltforøgelse vil dog kun være et Maal for den stedfundne Stofskifteforøgelse under Forudsætning af, at Arbejdets Varighed har været tilstrækkelig stor. Organismen kan nemlig ved en stærk, vilkaarlig Forøgelse af Aandedrættet optage noget mere Ilt, end der netop er Brug for i Øjeblikket; men dette Overskud forbruges, saasnart det forcerede Aandedræt ophører. Heraf benytter Svømmeren sig, naar han vil dykke under Vandet. Han forcerer i saa Fald Aandedrættet i nogen Tid og opnaar derved, dels at udlufte en stor Del af den i Blodet og Vævene oplagrede Kulsyre, dels at optage saa megen Ilt som muligt i Blodet. Derved bliver det ham muligt at vedligeholde Stofskiftet under Vandet i 1—2 Min. Direkte er en saadan Optagelse af et Overskud af Ilt og dets senere Forbrug paavist ved fysiologiske Undersøgelser<sup>1)</sup>. Ved flere af de Forsøg, som i det følgende skal omtales, vil det desuden vise sig, at der under det aandelige Arbejde er en vis Tendens til periodisk Iltoptagelse. I et Tidsrum af f. Eks. 5 Min. optages et ret betydeligt Overskud af Ilt, som derefter forbruges i de næste 10 Min., hvor der kun optages meget smaa Mængder. Denne Periodicitet optræder dog i Almindelighed kun i Begyndelsen af et aandeligt Arbejde; efter ca. 30 Min. Forløb synes Iltoptagelsen at blive ret konstant. Naar Forsøget altsaa blot har en saadan Varighed, tør man gøre Regning paa, at den optagne Iltmængde virkelig er forbrugt og følgelig Maal for det stedfundne Stofskifte. Naar BECKER og OLSEN ikke slog ind paa denne nemme Vej, var det nærmest af tekniske Grunde. Laboratoriet raadede engang kun over et Haldane'sk Luftanalyseapparat af ældre Konstruktion, som var ret upraktisk. En nøjagtig Kulsyrebestemmelse tog ikke blot lang Tid, men var ogsaa legemlig anstrengende, saa at der paa en Dag næppe lod sig udføre mere end 10—12. At opnaa rigtige Iltbestemmelser med dette Apparat var vel ikke ligefrem umuligt, men krævede i hvert Fald saa lang Tid, at de praktisk talt var udelukkede. Derfor findes der kun meget faa Iltbestemmelser i BECKER og OLSEN's Arbejde, og efter mit Kendskab til Analyseapparatets Ejendommeligheder kan jeg ikke tillægge dem noget Værd.

Den anden Maade, paa hvilken man — uafhængig af Iltbestemmelser — kan finde den virkelige Stofskifteforøgelse, bestaar i en Maaling af den udluftede Kulsyremængde. Under det aandelige Arbejde er Aandedrættet som oftest, om end ingenlunde altid, baade hyppigere og dybere end i Hvile. Deraf følger, at det pr. Sek. indaandede Rumfang Luft, som vi for Nemheds Skyld i det følgende vil kalde „Aandefanget“, bliver større. Med enhver saadan Forøgelse af Aandefanget følger nu ikke blot, som alt omtalt, Optagelse af en større Mængde Ilt, men ogsaa Udskillelse af en større Mængde Kulsyre, og da denne kun for en ringe Del skyldes Aandedrætsmusklernes forøgede Arbejde, maa den hidrøre fra en Udluftning af Organismens Beholdning. Man kan nu anstille følgende Dobbeltforsøg. Først udføres et aandeligt

<sup>1)</sup> LILJESTRAND: Über die Grösse der Kohlensäureabgabe bei Verminderung des Kohlensäurepartiardruckes in den Alveolen. I Skandinav. Archiv für Physiologie, Bd. 33, 1916, S. 173.

Arbejde, hvorved ikke blot Kulsyreforøgelsen maales, men ogsaa Aandefang og Aandedrætshyppigheden bestemmes. I det andet Forsøg, uden aandeligt Arbejde, søges vilkaarlig tilvejebragt samme Aandefang og Hyppighed som i det første, og den hermed følgende Kulsyreforøgelse maales. Denne maa skyldes dels Udluftningen ved det forøgede Aandefang, dels Aandedrætsmusklernes større Arbejde, og disse Størrelser maa være ens i de to Forsøg under Forudsætning af, at det er lykkedes i det sidste Forsøg at tilvejebringe samme Aandedræt som i det første. Differensen mellem de to fundne Kulsyremængder maa saa være et Maal for den ved det aandelige Arbejde forårsagede Stofskifteforandring.

Det ses let, at der ikke er det mindste til Hinder for at kombinere de to omtalte Metoder. Maales ved begge de to Forsøg ikke blot Kulsyren, men ogsaa Ilten, vil Differensen mellem Iltbestemmelserne give det nøjagtigst mulige Maal for Stofskifteforandringen ved det aandelige Arbejde, uafhængig af Aandedrætsapparatets Virksomhed. Dermed vil man have et Maal for Stofomsætningen i selve Centralorganet, saafremt alle andre medvirkende Momenter er saa uvæsentlige, at de kan lades ude af Betragtning. Det var denne Vej, jeg til en Begyndelse slog ind paa; desværre viste den sig hurtigt ikke at være farbar, idet Forudsætningen: at andre medvirkende Momenter ingen væsentlig Indflydelse har, utvivlsomt er urigtig. Som det senere skal blive paavist, spiller Tonusforandringer ikke blot i Ansigtets, men ogsaa i Armenes og undertiden i hele Kroppens Muskler en betydelig og veksende Rolle, og de synes hverken direkte eller indirekte at kunne elimineres. Man kan ikke udføre et aandeligt Arbejde af bestemt Art, uden at disse Forandringer af Muskeltonus optræder, og da man ikke — som ved Aandedrættet — vilkaarlig kan tilvejebringe bestemte Tonusændringer, kan man ikke maale, hvor stor en Andel de har i de fundne Stofskifteforandringer. Saavidt jeg kan se, er en Bestemmelse af selve Centralorganets Stofomsætning foreløbig et uløseligt Problem, saafremt man da forlanger uomtvistelige Tal og ikke mer eller mindre løse Gisninger. Indtil en eller anden Udvej af denne Vanskelighed findes, maa man indskrænke sig til at undersøge det aandelige Arbejdes Indflydelse paa Organismens Stofskifte som Helhed. Hertil vil det foreliggende Arbejde give et ikke uvæsentligt Bidrag, idet de talrige Forsøg, som jeg oprindelig anstillede med et andet Formaal for Øje, umiddelbart belyser dette Forhold.

### Apparater og Forsøgsanordning.

Ved de Forsøg, for hvilke der i det følgende skal gøres Rede, blev i Hovedsagen benyttet de samme Apparater og anvendt samme Fremgangsmaade som ved BECKER og OLSEN's. Da alt dette er udførlig beskrevet i det tidligere citerede Arbejde, skal jeg her indskrænke mig til at give et kort Overblik over Forholdene. Apparaterne og deres Opstilling ses af Fig. 1.

Fp. (Forsøgspersonen) sidder i en magelig Stol med vandret udstrakte Ben og dækket af et Tæppe. Ved langvarige Forsøg (vore har været indtil omtrent 2 Timer)



bliver man uundgaelig træt i Benene, naar man sidder paa en almindelig Stol med Fødderne hvilende paa Jorden, og Fp. vil da ganske uvilkaarlig forandre Stilling, strække eller bøje Benene, slaa det ene Knæ over det andet osv. Alle disse Muskelbevægelser, der medfører Forandringer i Stofskiftet af ubestemmelig Størrelse, undgaas erfaringsmæssig, naar Benene er vandret udstrakte paa et tilpas blødt Underlag.

Ved en saadan langvarig, ubevægelig Stillesiddende kommer man imidlertid let til at fryse; et Tæppe er et hensigtsmæssigere Middel herimod end en Forhøjelse

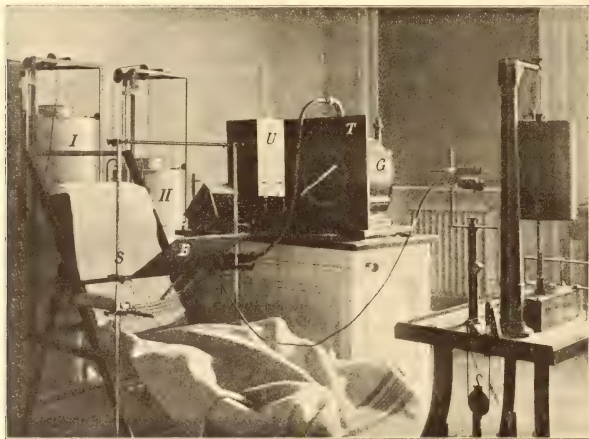


Fig. 1.

af Stuens Temperatur, som let kan blive ubehagelig ved anstrengende aandeligt Arbejde. Fp.s Ansigt er dækket af Respirationsmasken, som klæber fuldstændig lufttæt til Huden ved det tynde Lag Klæbevoks, hvormed Randen er bestrøget. Indaandningen sker gennem Gasuret *G*, der maaler Luftvoluminet; Udaandingsluften gaar afvexlende til det ene eller det andet af de to Spirometre, *I* og *II*, som ses i Baggrunden. Naar det ene af disse er fyldt, afspærres det for Lufttilgang ved Drejning af en Hane, medens der samtidig aabnes for det andet. Der tages saa de fornødne Luftprøver fra det første, som derpaa tømmes, medens det andet fyldes. Foran Fp. findes en lille Bordplade *B*, der paa Stativet *S* kan indstilles i enhver Højde og Stilling, saa at Fp. bekvemt kan have en Bog, Opgaver e. l. liggende derpaa.

Der er indført en væsentlig Forbedring af den tidligere anvendte Fremgangsmaade, idet Størrelsen af det indaandede Luftvolumen registreres grafisk. Ved BECKER og OLSEN's Forsøg blev dette Volumen bestemt ved direkte Aflæsning. Paa Gasurets forlængede Akse var anbragt en Viser, der bevægede sig henover en i Grader ind-

delt Cirkel, og denne Visers Stilling aflæstes, hvergang Uret *U* ved et Klokkeslag markerede Forløbet af 40 Sek. Det var derfor nødvendigt ved Forsøgene foruden *Fp.* at have to Assisterter, af hvilke den ene besørgede den omtalte Aflæsning, medens den anden udtog Luftprøver, tømte Spirometrene osv. Dette er ret upraktisk; saadanne Forsøg gaar altid desto bedre, jo færre Personer der er tilstede. Desuden kunde Urets Klokkeslag nu og da forstyrre *Fp.* i Arbejdet. Alle disse Ulemper undgaas ved den grafiske Registrering, der er tilvejebragt paa følgende Maade. Gasurets Viser er forsynet med en blød Metalfjeder, der slæber hen over et Brædt *T*, hvor den Cirkel, Fjederen beskriver under Viserens Rotation, er delt i fire Kvadranter ved indlagte Sølvkontakter. Hver Gang Viseren passerer en af disse, lukkes en elektrisk Strøm, hvorved der sættes et Mærke paa en Kymograftrumle; denne saavel som de registrerende Skriveapparater ses i Forgrunden tilhøjre. Tiden markeres paa Tromlen af Uret *U*, der sætter et Mærke hver 20. Sek. Alt dette gaar ganske lydløst, og det bliver muligt senere i den grafiske Optegnelse at udmaale, hvor stort et Luftvolumen der er indaandet til et hvilket som helst Tidspunkt.

Foruden Tiden og Respirationsvoluminet registreredes ligeledes stadig Aandedrættets Hyppighed, idet et lille Siderør paa den til Respirationsmasken førende Luftledning var sat i Forbindelse med en Marey'sk Tambour ved en Gummislange. Ved hver Indaanding sugedes Tambourens Gummihinde nedad; i Respirationskurven er saaledes Indaandingen den nedadgaende, Udaandingen den opadgaende Bugt. Paa vore Tromler var der Plads til 8 Omgange af disse 3 Kurver over hinanden, og da Tromlen roterede en Gang i 15 Min., kunde Forsøget følgelig udstrækkes til 2 Timer, inden en Ombytning af Tromlen blev nødvendig.

I Fig. 2 og 12 er vist fotografiske Gengivelser i  $\frac{2}{3}$ s naturlig Størrelse af de originale Optegnelser fra to forskellige Forsøg. Da den paa Tromlen beskrevne Flade er  $26 \times 60$  cm., gengiver de to Figurer kun et Par mindre Udsnit af de fuldstændige Optegnelser. I Figurerne betegner *T* Tidsmærkerne, *R* er Respirationskurven og *V* den af Gasuret registrerede Volumenkurve; de sammenhørende Kurver staar i den nævnte Orden over hinanden, Tiden øverst og Voluminet nederst. Iøvrigt viser begge Figurerne endnu en fjerde Kurve, *S*; det er nærmest af Hensyn til denne, at de overhovedet er blevet reproducerede, idet *S* er en Optegnelse af de under en vis sjælelig Virksomhed uvilkaarlig optrædende Spændingsforandringer i Fingrenes Bøjemusklér. Det er ikke her Stedet at gaa ind paa, under hvilke Forhold Kurverne er optagne, og hvad der kan udledes af dem, men det til Optegnelsen anvendte Apparat maa omtales.

Da forskellige Omstændigheder, for hvilke der i det følgende skal gøres Rede, havde gjort det i høj Grad sandsynligt, at Forandringer i Muskeltonus fandt Sted under psykisk Arbejde i langt større Udstrækning, end man i Almindelighed var tilbøjelig til at antage, blev det ønskeligt at faa fort et direkte Bevis for disse Tonusforandringers Optræden. Det var ingenlunde givet, at det altid var de samme Muskler, der var implicerede; undertiden var de Stofskiftetorøgelser, der tydede paa en forhøjet Muskeltonus, saa store, at en Forandring i hele Kroppens Muskler ingen-

lunde var udelukket. Det laa derfor nær at antage, at Tonusforandringer var medvirkende ogsaa i de Tilfælde, hvor ingen særlige Omstændigheder direkte tydede derpaa. Spørgsmaalet blev saaledes blot, hvor man skulde søge dem, og hvorledes de kunde paavises. Jeg gik da ud fra, at Tonusforandringer fortrinsvis maatte optræde i Armenes og Hændernes Muskler, fordi pantomimiske Bevægelser eller i det mindste Tendenser hertil er saa nøje knyttet til al sjælelig Virksomhed. Men i Hænderne maatte slige Forandringer let kunne eftervises. Dertil benyttede jeg en

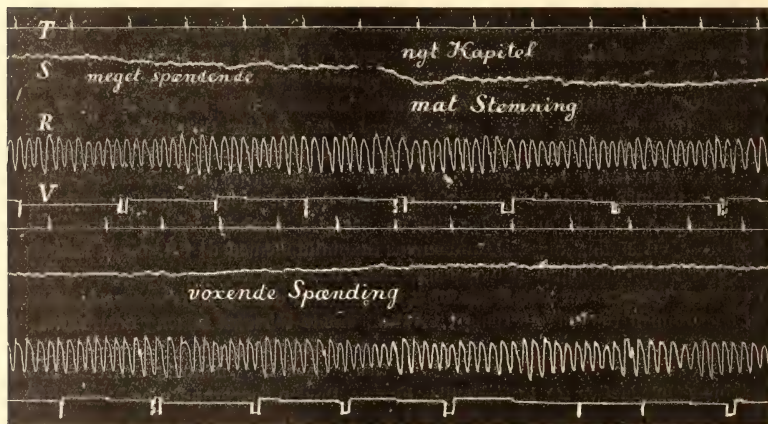


Fig. 2.

nogenlunde stiv, pæreformet Gummibold, i hvis Hals der var indsat et kort Glasrør. Bolden, der omtrent var 6 cm. i Diameter, blev trykket halvt flad inde i Haanden, og denne omvikledes derpaa stramt med et langt Bind, saa at Fingrene blev fastholdte i den bøjede Stilling. Sættes nu Boldens Glasrør ved en Gummislange i Forbindelse med en Marey'sk Tambour med meget ringe Luftrum og en yderst fin Gummimembran, saa maa dennes Skrivestift give Udslag for enhver Forandring i Fingermusklernes Spænding. Hvis Musklerne slappes, vil Bindet ganske vist forhindre større Bevægelser af Fingrene, men saa elastisk er det dog altid, at en lille Udvidelse af Bolden bliver mulig, hvorved Skrivestiften sænker sig. Og hvis Musklerne strammes saa at Haanden knyttes fastere, vil Bolden klemmes yderligere sammen, og Skrivestiften gaa opad. Apparatet har vist sig for saa vidt at svare til Hensigten, som Kurverne S i Fig. 2 og 12 virkelig viser saavel hurtigt som langsomt forløbende Svingninger. Der er imidlertid ogsaa Forandringer af anden Art, som let ses i Originalerne og i hvert Fald i Fig. 2 ogsaa, trods Formindskelsen, kan iagttages under

Lupe. De fine Takker, hvoraf Kurven er sammensat, svarer til Pulsslagene. Dette vil med andre Ord sige, at Kurven ogsaa viser pletysmografiske Forandringer, og et Apparat af meget nær samme Konstruktion som det her beskrevne blev af BINET og COURTIER brugt som Pletysmograf<sup>1)</sup>.

Det kunde saaledes synes noget tvivlsomt, om Apparatet i det Hele taget egner sig til at registrere Variationer i Muskeltonus. Det er indlysende, at de fra Forandringer i Blodeirkulationen hidrørende Rumfangsforandringer i Haanden maa vise sig, saafremt de ikke ophæves af samtidige Variationer i Muskelspændingen. Dette fremgaar umiddelbart deraf, at Kurven viser Pulsslagene. Men det er ligeledes klart, at der ved Sammentrækning eller Slappelse af Musklerne maa kunne fremkaldes meget større Svingninger i Kurven end ved de altid ret begrænsede Forandringer i Haandens Rumfang. Tonusforandringerne maa saaledes ganske kunne ophæve de pletysmografiske Virkninger, saafremt disse gaar i modsat Retning, og gaar de i samme Retning, vil Udslaget i Kurven kun derved forstærkes. Nu har jeg allerede tidligere gjort opmærksom paa, at BINET & COURTIER's saakaldte Pletysmogrammer kun undtagelsesvis stemmer med dem, man faar optegnet med Apparater af mere paalidelig Konstruktion<sup>2)</sup>. Aarsagen til denne Uoverensstemmelse, som jeg i sin Tid ikke kunde give nogen helt tilfredsstillende Forklaring paa, ses nu at ligge lige for: naar Muskelspændingerne faar Overhaand, ophæves de pletysmografiske Virkninger. Beviset for, at det virkelig forholder sig saaledes, kan føres ved BINET & COURTIER's egne Kurver. Ethvert aandeligt Arbejde medfører erfaringsmæssig en Formindskelse af Armenes Rumfang; af denne pletysmografiske Virkning findes der i hvert Fald svage Antydninger i flere af BINET & COURTIER's Kurver, hvor Arbejdet kun har været let. Hvis Arbejdet derimod kræver en betydelig Koncentration af Opmærksomheden, som f. Ex. ved større Opgaver i Hovedregning, vil Opmærksomhedsanspændelsen rimeligvis medføre en kendelig Forøgelse i Muskeltonus, hvorved den pletysmografiske Virkning ophæves. Netop dette ses at være Tilfældet i de to Kurver Fig. 29 og 30 hos BINET & COURTIER<sup>3)</sup>: disse er de eneste, som er optagne under mere anstrengende Arbejde, men her er heller ikke Spor af nogen Sænkning, snarere en lille Hævning af Kurverne. Der synes saaledes ikke at kunne være Tvivl om, at Muskelspændinger i Hænderne ledsager enhver Opmærksomhedsanspændelse, og at den lille Gummibold kan registrere dem, saasnart de bliver nogenlunde fremtrædende.

Til Luftanalyserne er benyttet et Haldane'sk Analyseapparat af nyere Konstruktion<sup>4)</sup>. Det arbejder i enhver Henseende fortræffeligt; saa godt som alle de Ulemper, der klæbde ved det ældre Apparat, er her fjernede. Der er kun et svagt Punkt tilbage: Iltabsorptionen. Under almindelige Forhold gaar den nogenlunde let og sikkert, men den anvendte Pyrogallol-Kaliopløsning er i høj Grad modtagelig

<sup>1)</sup> Circulation capillaire. L'année psychologique II, pag. 146 o. f.

<sup>2)</sup> De sjælelige Tilstandes legemlige Ytringer, Kbhvn. 1898. S. 67.

<sup>3)</sup> Anf. St. S. 151—152.

<sup>4)</sup> HALDANE: Methods of air analysis. London 1912. S. 48.



for Temperaturforandringer. Da Temperaturen i Efteraaret, før Centralvarmeapparatet var sat i Funktion, en Dag sank ned til  $12^{\circ}\text{C}$ . i Forsøgslokalet, var Iltabsorptionen efter halvanden Times Forløb endnu ikke fuldstændig. Paa det Vilkaar kan 14 Analyser, som vore Forsøg i det mindste krævede, ikke gennemføres paa en Dag. Saa snart det var gaaet op for mig, at det var Temperaturen, det var galt med, var Fejlen naturligvis med det samme afhjulpet. En 50-Lys elektrisk Glødelampe, indsat i en dyb konisk Porcellænsreflektor, blev stillet op i passende Afstand fra Pyrogallolbeholderen, og idet Varmestraalerne reflekteredes ind paa denne, bragte de i faa Minuter Temperaturen op til  $25^{\circ}\text{C}$ . Ved denne Temperatur foregaar Iltabsorptionen fuldstændig i 3 Min., hvilket er en stor Lettelse af Arbejdet. Jeg har derfor bibeholdt min lille elektriske Ovn og anbragt et Termometer paa Pyrogallolbeholderen; ved smaa Forandringer af Lampens Afstand fra denne kan dens Temperatur holdes fuldstændig konstant uafhængig af Lokalets.

Pyrogallolopløsningens forhøjede Temperatur medfører imidlertid ikke blot en større Hastighed, men ogsaa en større Nøjagtighed i Analyserne. Kulsyre's Absorption i Natronopløsningen synes at være ret uafhængig af Temperaturen indenfor de Grænser, hvorom her er Tale; Analyser af samme Luftblanding vil derfor kun undtagelsesvis være behæftede med en større Middelfejl end  $0,01\%$  for Kulsyre's Vedkommende. Derimod vil den træge Absorption af Ilt'en ved lav Temperatur tilige have til Følge, at det bliver meget vanskeligt at faa det sidste Spor af Ilt fjernet, og Afvigelser paa indtil  $0,1\%$  mellem Analyser af samme Blanding forekommer jævnlig. Den livlige Absorption ved  $25^{\circ}\text{C}$ . har yderligere den Fordel, at al Ilt'en fjernes, hvorved den væsentligste Fejlkilde er stoppet. Middelfejlen synker derved til  $0,02\%$ ; længere ned kan den næppe drives, da Fejlen fra Kulsyrebestemmelsen i Følge Analysens Gang indgaar i Iltbestemmelsen.

Forsøgsanordningen var i alt væsentligt den samme som ved BECKER og OLSEN's Forsøg. Det fremgaar tydelig nok af disse, at der kan være en ret stor Forskel paa Kulsyreudskillelsen — og derfor rimeligvis ogsaa paa Iltoptagelsen — i Hvileforsøg, som udføres før og efter aandeligt Arbejde. Der synes altsaa under selve Arbejdet at foregaa Forandringer i Organismen, som har et forandret Stofskifte til Følge i nogen Tid efter Arbejdets Ophør. Hertil maa der tages Hensyn ved Beregningen af Stofskifteforøgelsen under Arbejdet, saa at det altsaa er nødvendigt at udføre Hvileforsøg umiddelbart før og efter dette. Hvorledes saa iøvrigt Stofskifteforøgelsen ved Arbejdet skal beregnes, naar de to Hvileforsøg ikke giver overensstemmende Værdier, hvad kun sjælden er Tilfældet, bliver et Spørgsmaal for sig, som skal beskæftige os senere. Selve Arbejdstiden blev ved de fleste af vore Forsøg delt i 4, og ikke som ved BECKER og OLSEN's Forsøg i 3 Perioder. Den Kulsyreudluftning, som Arbejdet kunde antages at medføre, vil nemlig i Almindelighed indtræde straks ved Arbejdets Begyndelse, hvor Aandedrættets Dybde og Hyppighed veksler. Derfor opsamledes og undersøgtes Udaandingsluften fra de første 5 Minuters Arbejde for sig, for at den mulige Forskel i Kulsyreindholdet i denne Periode og den øvrige Arbejdstid kunde træde saa tydelig frem som muligt. Den øvrige Arbejdstid, som



oftest 30 Min., deltes i tre ligestore Perioder; for hver af disse opsamledes og undersøgte Udaandingsluften særskilt. Hviletiden efter Arbejdet deltes atter i to Perioder, først en kort paa 5 Min., derefter en længere paa 10 Min. Ved denne Deling tilsigtedes, ligesom ved den første korte Arbejdsperiode, en Bestemmelse af de event. Variationer i Udaandingsluftens Sammensætning straks ved Overgangen mellem Arbejde og Hvile.

Et Normalforsøg forløber herefter paa følgende Maade. Naar Fp. er kommen i Ro paa Forsøgstolen og alt er i Orden, hængaar først en Tid paa 10 -15 Min., for at Organismen saa at sige kan tilpasse sig for den siddende Stilling. Derefter begynder det første Hvileforsøg af 10 Min. Varighed, Periode I. Paa et aftalt Signal begynder Arbejdet, hvorom den fornødne Instruktion naturligvis er givet i Forvejen; det fortsættes i 35 Min., Periode II—V. Paa Signalet: „Arbejdet ophører“ standses dette øjeblikkelig, og de to Hvileforsøg udføres; Periode VI og VII. Da der fra hver Periode tages to Luftprover til gensidig Kontrol, vil et Forsøg altsaa kræve 14 Luftanalyser. Denne Ordning har vel været den almindelige, men der er dog talrige Undtagelser herfra. I enkelte Forsøg blev Arbejdstiden delt i 7 Perioder à 5 Min. for at faa Rede paa, om Iltoptagelsen fulgte Svingningerne i den præsterede Mængde Arbejde. Ret jævnlig blev Arbejdet fortsat i 45 Min., idet der blev indskudt en femte Periode efter de normale fire. I en Række Forsøg, hvorved der tilsigtedes en Undersøgelse af Træthedens Indflydelse paa Stofskiftet, udstraktes Arbejdet til 75 Min.; Tiden blev i saa Fald delt i 5 Perioder à 15 Min. Ved samtlige Forsøg er Arbejdet bleven fortsat uden nogen Afbrydelse; Inddelingen i Perioder angaar kun Opsamlingen af Udaandingsluften.

Ved Forsøg af denne Art kan kun bruges øvede Fp., da Resultaterne og disses Værd ganske er afhængige af, at Fp. retter sig efter de givne Instruktioener og bag efter kan gøre Rede for sin Sindstilstand under Forsøget. Derfor har foruden Mag. art. S. NÆSGAARD og jeg selv, der allerede fungerede som Fp. ved BECKER og OLSEN's Forsøg, kun Laboratoriets Assistent, Dr. phil. R. H. PEDERSEN medvirket. Jeg skylder begge de nævnte Herrer en Tak for den Iver og Interesse, hvormed de har omfattet Arbejdet. Dr. PEDERSEN har desuden med største Omhu udført samtlige Udmaalinge af de grafiske Optegnelser.

### Materialets Bearbejdelse.

Af Forsøgene fremgaar et Materiale, der foreligger dels i Form af grafiske Optegnelser, dels som Analyseresultater, Bestemmelser af Udaandingsluftens Procentindhold af Kulsyre og  $\text{H}_2\text{O}$ . Dette Materiale skal nu bearbejdes saaledes, at det giver et Overblik over de faktisk stedfundne Stofskifteforandringer.

Af de grafiske Optegnelser findes ved Optælling det gennemsnitlige Antal af Aandedrag pr. Min. i hver af de enkelte Perioder. Disse Tal er opførte i Tabellerne 5, 6 og 7 efter Afhandlingens Tekst. Fremdeles findes af de grafiske Optegnelser, hvormange Fjerdedels Omdrejninger Gasmaaleren har gjort i hver Periode. Da Pe-

riodens Længde i Sekunder er kendt, og en kvart Omdrejning giver et Rumfang af  $3710 \text{ cm}^3$ , findes heraf Aandefanget, det pr. Sek. indaandede Antal  $\text{cm}^3$  Luft. Dette Tal angiver imidlertid Rumfanget af dampmættet Luft ved Stuens Temperatur og den tilfældige Barometerstand; for Sammenligningens Skyld maa det reduceres til tør Luft ved  $0^\circ \text{ C.}$  og  $760 \text{ mm}$  Tryk; de saaledes korrigerede Værdier er opførte i Tabellerne. Da Aandefanget ligger til Grund for Beregningen af de pr. Sek. udskilte  $\text{cm}^3$  Kulsyre og optagne  $\text{cm}^3$  Ilt, gælder altsaa ogsaa for disse i Tabellerne opførte Værdier, at de er reducerede til tør Luft ved  $0^\circ \text{ C.}$  og  $760 \text{ mm}$ .

Ved Analyserne findes Udaandingsluftens Procentindhold af Kulsyre og Ilt. For heraf at kunne beregne Mængden af udskilt Kulsyre og optagen Ilt maa man kende den indaandede Lufts Sammensætning. Ren atmosfærisk Luft indeholder  $20,93\%$  Ilt og  $0,03\%$  Kulsyre, men i en stor Bygning, hvor mange Mennesker færdes og Ventilationsapparatet af økonomiske Grunde er sat ud af Funktion, kan man ikke vente at finde ren Luft. Talrige Analyser af Luften i Forsøgslokalet, taget saavel før som efter et Forsøg, har vist, at Sammensætningen næsten konstant er  $20,88\%$  Ilt,  $0,08\%$  Kulsyre og  $79,04\%$  Kvælstof. Findes der altsaa ved Analyse af Udaandingsluften  $a\%$  Kulsyre, saa vil følgelig  $a - 0,08\%$  være udskilt af Organismen. Er Aandefanget  $V \text{ cm}^3$ , vil der pr. Sek. af Organismen udskilles Kulsyremængden  $K$ , bestemt ved:

$$K = \frac{a - 0,08}{100} \cdot V. \quad \text{Lign. 1.}$$

Den optagne Iltmængde findes ved Hjælp af Respirationskvotienten. Indeholder Udaandingsluften  $b\%$  Ilt, maa Organismen altsaa have optaget  $20,88 - b\%$ ; den saakaldte tilsyneladende Respirationskvotient,  $q$ , Forholdet mellem Procentantallet af udskilt Kulsyre og optagen Ilt er da:

$$q = \frac{a - 0,08}{20,88 - b}. \quad \text{Lign. 2.}$$

HALDANE har givet en Tabel, ved hvis Hjælp man af den tilsyneladende Respirationskvotient skal kunne finde den sande<sup>1)</sup>. Tabellen er imidlertid øjensynlig behæftet med Trykfejl og desuden altfor ufuldstændig til at være til nogen Nytte. Da det ved vore Forsøg kom til at dreje sig om mange hundrede Analyser med tilhørende Beregninger, vilde det øjensynlig være i høj Grad tidsbesparende en Gang for alle at beregne en Tabel, hvoraf den sande Respirationskvotient  $Q$  kunde findes, naar den tilsyneladende,  $q$ , var givet. Der maatte da findes en Formel for  $Q$  udtrykt ved  $q$ ; til denne kommer man ved følgende Betragtning.

I  $100 \text{ cm}^3$  af den analyserede Udaandingsluft er der  $100 - (a + b) \text{ cm}^3$  Kvælstof, medens der i Indaandingsluften var  $79,04 \text{ cm}^3$ . Da der hverken optages eller afgives Kvælstof ved Aandedrættet, maa der for hver  $79,04 \text{ cm}^3$  Kvælstof i Indaandingsluften have været  $20,88 \text{ cm}^3$  Ilt. I  $100 \text{ cm}^3$  af Udaandingsluften findes

<sup>1)</sup> Anf. Skr. S. 57.

imidlertid  $100 - (a + b)$  cm.<sup>3</sup> Kvælstof; følgelig maa der til dette Volumen i Indaandingsluften have svaret:

$$\frac{100 - (a + b)}{79,04} \cdot 20,88 \text{ cm}^3 \text{ Ilt.}$$

Da der i 100 cm<sup>3</sup> Udaandingsluft findes  $b$  cm<sup>3</sup> Ilt, maa der være optaget:

$$\frac{100 - (a + b)}{79,04} \cdot 20,88 - b \text{ cm}^3 \text{ Ilt.}$$

Den sande Respirationskvotient,  $Q$ , bliver da:

$$Q = \frac{a - 0,08}{\frac{100 - (a + b)}{79,04} \cdot 20,88 - b.} \quad \text{Lign. 3.}$$

Det søgte Udtryk for  $Q$  ved  $q$  faas, naar man af Lign. 2 og 3 eliminerer  $b$ , hvorved ogsaa  $a$  gaar bort. Man har da:

$$Q = \frac{79,04 q}{79,04 + 20,88 (1 - q)}. \quad \text{Lign. 4.}$$

Heraf beregnes nemt en Tabel over de til givne  $q$  svarende Værdier af  $Q$ . Da  $q$  i Almindelighed og ved vore Forsøg altid falder mellem Grænserne 0,7 og 1,1, bliver Tabellen saaledes af ret begrænset Omfang. Den har yderligere den Fordel at kunne bruges, selv om Indaandingsluften har havt større Iltindhold end de her forudsatte 20,88 %. Af Lign. 4 findes nemlig for  $q = 0,7$ ,  $Q = 0,6486$ ; indsætter man derimod 20,93 i Stedet for 20,88, faas  $Q = 0,6484$ . Der er saaledes kun en Forskel paa 2 Enheder i 4. Decimal, hvilket er ganske betydningsløst, og for 0,7  $q$  1,1 kan Forskellen intetsteds blive større.

Naar  $Q$  er bekendt, kan den pr. Sek. optagne Iltmængde let findes. Lad denne være  $I$ ; af Lign. 1 er den pr. Sek. udskilte Kulsyre mængde  $K$  bekendt. Da nu  $K I = Q$ , er følgelig:  $I = K/Q$ . Lign. 5.

I Tabellerne er under Overskriften " $O_2$ " opført det ved Analyserne fundne tilsyneladende Procenttal af optaget Ilt:  $20,88 - b$ , som ligger til Grund for Beregningen af  $q$  (Lign. 2). Under „Respirationskvotient“ er opført Værdierne af  $Q$ . Fremdeles er angivet i cm.<sup>3</sup> pr. Sek. den udskilte Kulsyre og optagne Ilt, bestemt henh. af Lign. 1 og Lign. 5.

Saa langt har vi kun haft at gøre med empiriske Data. Spørgsmaalet bliver nu, hvorledes man af det tilrettelagte Materiale kan beregne den af Arbejdet medførte Stofskiftetforandring. Herom kan der vanskelig være Tvivl i de Tilfælde, hvor Stofskiftet i Hvileperioderne efter Arbejdet er det samme som før Arbejdet. Lad os for Nemheds Skyld kalde det Antal cm.<sup>3</sup>s, der under Hvile udskilles af Kulsyre eller optages af Ilt for henh. Kulsyrens og Iltens „Hvileværdier“. Hvis disse Hvileværdier er konstante, ikke forandrer sig under Arbejdet, maa Stofskiftetforøgelsen

ved Arbejdet ligefrem kunne beregnes som Differensen mellem Arbejds- og Hvileværdierne. Men i langt de hyppigste Tilfælde vil der være en ikke uvæsentlig Forskel paa Hvileværdierne før og efter Arbejdet, og det er i saa Fald ikke umiddelbart indlysende, hvorledes disse Størrelser skal anvendes. Vidste man noget om, hvad der er Aarsag til denne Forandring af Hvileværdierne, vilde man rimeligvis deri have et Holdepunkt for Beregningen, men til at begynde med ved vi intet som helst herom. Der er flere Beregningsmaader mulige, men formodentlig dog kun een, der er den rigtige, og det gælder da om at finde den, der har den største Sandsynlighed for sig.

Af selve de i Tabellerne foreliggende Tal lader sig næppe noget udlede; Talrækker giver ikke et anskueligt Billede af, hvorledes en Proces forløber. Netop derfor har jeg sammenstillet Forsøgsresultaterne tabellarisk efter Teksten; her kan Enkelthederne efterses af den, for hvem de har Interesse. Til Lettelse for et saadant Eftersyn er Resultaterne for hver af de tre Fp., L, N og P, opførte for sig, og hvert enkelt Forsøg er mærket med et af disse Bogstaver og desuden med et Løbenummer, der angiver den kronologiske Orden af de med hver Fp. udførte Forsøg. Af disse Løbenumre vil det ses, at nogle enkelte Forsøg er udeladte; det er uden Undtagelse Tilfælde, hvor det ikke lykkedes Fp. at overholde Instruksen, saa at man faktisk ikke véd, hvad der egentlig er maalt. Alle de øvrige Forsøg er opførte og skal i det Følgende omtales; Henviisning til Tabellerne sker ved Angivelse af et Bogstav og Løbenummer, f. Ex. N. 11, hvorved det paagældende Forsøg let findes.

Medens der altsaa som sagt vanskelig kan ses noget af Tabellerne, forandrer Sagen sig straks, naar Resultaterne optegnes grafisk. Jeg har derfor overalt, hvor et eller andet Forhold skulde belyses, benyttet grafiske Fremstillinger, og disse er konstruerede paa samme Maade; som typisk Exempel anføres her Fig. 3. Den fremstiller de fire sammenhørende Forsøg: N. 4, N. 5, N. 8 og N. 9. Som Abscisse er overalt ansat Tiden i Minutter; Ordinaterne er forskellige for de forskellige Kurver. Den øverste, R, angiver Aandefanget, og Ordinaterne er her de i Tabellerne opførte  $\text{cm}^3/\text{s}$ . De to næste Kurver angiver den optagne Ilt,  $\text{O}_2$ , og udskilte Kulsyre,  $\text{CO}_2$ . Ordinaterne er her ligeledes Tabellernes  $\text{cm}^3/\text{s}$ ; Kurverne er iøvrigt indtegnede saaledes, at deres Ordinator har samme Nulpunkt, saa at ikke blot Iloptagelsens og Kulsyreudskillens Forløb under Forsøget, men ogsaa disse Processers indbyrdes Forhold fremgaar af Tegningen. Saaledes ses af N. 4, at der i Hvileperioden før Arbejdet pr. Sek. er udskilt paa det nærmeste 0,5  $\text{cm}^3$  mindre  $\text{CO}_2$  end der er optaget  $\text{O}_2$ . Den nederste Kurve angiver det udførte Arbejde; her er Ordinaten naturligvis afhængig af Arbejdets Art og skal nærmere blive angivet paa hvert enkelt Sted i det følgende.

Med Fig. 3 for Øje kan de forskellige mulige Beregningsmaader af Stofskifteforøgelsen under Arbejdet diskuteres med Udsigt til et rimeligt Resultat. Som ledende Tanke mener jeg herved at maatte fastholde, at *den Beregningsmaade har størst Sandsynlighed for at være rigtig, der for de enkelte Arbejdsperioder fører til saa lidt mulig lige store Stofskiftetilvækster under Forudsætning af tilnærmelsesvis konstant*

*Arbejde.* Det fremgaar nemlig af de foreliggende Undersøgelser, at det aandelige Arbejde har en aldeles uomtvistelig Indflydelse paa Organismens Stofskifte. Om denne Forandring skyldes livligere Stofomsætning i Centralnervesystemet, i Musklerne eller muligvis i helt andre Organer, kan foreløbig være et aabent Spørgsmaal. Kun saa meget er indlysende, at saakænge Aarsagen — den psykiske Virksomhed — vedbliver at bestaa med tilnærmelsesvis konstant Styrke, maa ogsaa Virkningen — det forøgede Stofskifte — antages omtrent konstant. Der maa da i hvert Fald angives særlige Grunde for Antagelsen af en Forandring i Virkningen trods en konstant Aarsag. Idet jeg derfor mener at maatte fastholde den anførte Betragtning som ledende Princip, skal det nu undersøges, hvilken Beregningsmaade der stemmer bedst hermed.

Naar man har forskellige Værdier for Hvileperioderne før og efter Arbejdet, ligger det nær at tage Middeltallet af disse Hvileværdier og trække det fra Værdierne for de enkelte Arbejdsperioder. Af Fig. 3 ses let, hvad dette vil føre til. Eksempelvis er ved den øverste Kurve for Nr. 4 trukket en vandret Linie, *ab*, gennem det Punkt, der svarer til Hvileværdiernes Middeltal. Afstandene, maalt paa Ordinaterne, fra *ab* op til Kurven *R* vil da være Differenserne mellem Arbejdsperiodernes Værdier og dette Middeltal. Det ses umiddelbart, at disse Differenser bliver meget større i Begyndelsen af Arbejdet end ved Slutningen, og et saadant Misforhold vil gøre sig gældende ved samtlige Kurver paa Fig. 3; flere af de her fremstillede Fænomener, især Kulsyreudskillelsen  $CO_2$ , vil give store positive Værdier i

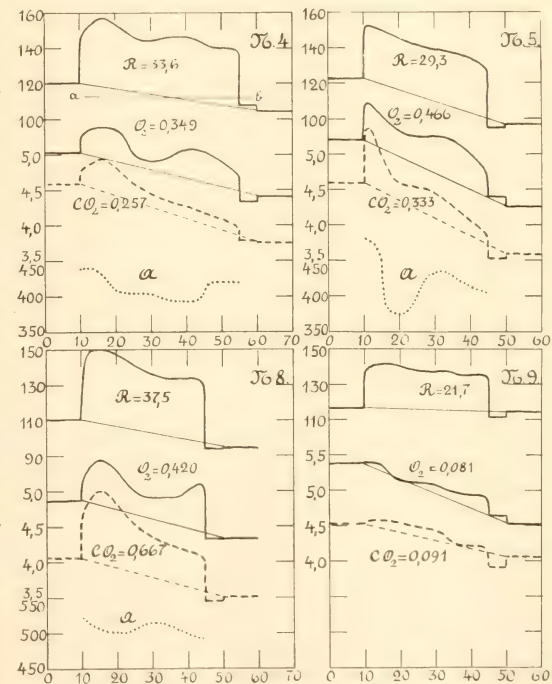


Fig. 3.



Begyndelsen og negative Værdier i Slutningen. Differenserne mellem Arbejdsværdierne og Hvileværdiernes Middeltal kan derfor ikke antages at give et rigtigt Billede af Stofskiftets Forløb under Arbejdet.

En anden mulig Beregningsmaade er den, at man kun tager Hensyn til den ene eller den anden Gruppe af Hvileværdier. Saaledes gik SPECK tilværks ved sine bekendte Undersøgelser, idet han kun bestemte Hvileværdier enten før eller efter Arbejdet<sup>1)</sup>. Det er derfor undgaaet hans Opmærksomhed, at man vil komme til ganske forskellige Resultater, alt efter som man regner med den ene eller den anden af disse Størrelser. Tænker man sig i Fig. 3 de vandrette Linier, som angiver Hvileværdierne, forlængede, saa vil Afstanden fra disse Forlængelser til de tilsvarende Kurver give Stofskiftetilvæksterne under Arbejdet. Disse bliver meget smaa, i mange Tilfælde negative, hvis man regner ud fra de øvre Hvileværdier, derimod overordentlig store, hvis man regner ud fra de nedre. SPECK fandt faktisk ogsaa i enkelte Tilfælde negative Stofskiftetilvækster, hvorpaa han ingen Forklaring giver; men da hans Arbejdsmaade i det hele var ganske upraktisk, lønner det ikke Umagen at drøfte hans enkelte Resultater. Da vore Maalinger viser, at der næsten altid er en Forskel paa Hvileværdierne før og efter Arbejdet, har man aabenbart her at gøre med et ret lovmæssigt Fænomen, som man maa tage Hensyn til; dette kan ikke gøres paa den Maade, at man ignorerer den ene Gruppe.

Tilbage bliver, saa vidt jeg kan se, som eneste mulige Beregningsmaade den af BECKER og OLSEN anvendte Metode: man tænker sig Organismens Hvilestofskifte varierende jævnt, proportionalt med Tiden, fra den øvre til den nedre af de fundne Størrelser og beregner Tilvæksten under Arbejdet som Differensen mellem det faktiske Stofskifte og det for hvert enkelt Tidspunkt gældende Hvilestofskifte. Det er dette jævnt varierende Hvilestofskifte, der i Fig. 3 og de følgende Figurer er fremstillet ved rette Linier, der forbinder de sammenhørende Hvileværdier. Stofskiftetilvæksterne under Arbejdet i ethvert givet Øjeblik bliver altsaa fremstillede ved Afstanden maalt paa Ordinaterne fra denne Skraalinie til den paagældende Kurve. For Rigtigheden af denne Beregningsmaade har BECKER og OLSEN egentlig ikke ført andet Bevis, end at Stofskiftet i fuldstændig Hvile, naar Fp. slet ikke arbejder, synker ret jævnt, saa at det efter en vis Tids Forløb er mindre end i Begyndelsen. Men fordi dette foregaar i Hvile, er det strengt taget ikke sikkert, at det ogsaa vil finde Sted under Arbejdet, hvor Stofskiftet er forøget. Fig. 3 o. f. viser imidlertid, at der virkelig er en almindelig Tendens til Formindskelse af Stofskiftet ogsaa under Arbejdet. Hvis man overhovedet kan tale om Parallelisme mellem en ret Linie og en bugtet, saa maa man sige, at de indtegnede Skraaliner virkelig de fleste Steder nærmer sig stærkt til at være parallelle med de Kurver, der angiver Stofskiftet under Arbejdet. Men dette vil med andre Ord kun sige, at det ovenfor opstillede Princip for den sandsynligste Beregningsmaade her er sket Fyldest. At Afstandene fra Skraalinerne til de paagældende Kurver er tilnærmelsesvis ligestore, betyder ligefrem, at

<sup>1)</sup> Physiologie des menschl. Athmens. Leipzig 1892. S. 205 og 207, Tab. 47 og 48.

man saa nær som mulig vil finde ligestore Stofskiftetilvækster i de forskellige Arbejdsperioder ved at regne med et jævnt varierende Hvilestofskifte.

Denne Beregningsmaade er derfor gennemført ved saa godt som alle Forsøgene. De i Kolonnerne „Overskud“ opførte Tal er Differenserne mellem det faktiske Stofskifte i de enkelte Perioder og Hvilestofskiftet, tænkt jævnt varierende mellem de fundne Værdier. Endelig er i Kolonnerne „M“ anført Middeltallene af disse Differenser, selvfølgelig beregnede med Hensyntagen til Periodernes ulige Længde. Det maa dog straks bemærkes, at denne Beregningsmaade ikke kan anvendes i alle Tilfælde, fordi Hvilestofskiftet ikke kan synke ubegrænset. I Forsøget N. 5 aflager Iltoptagelsen fra 5 cm.<sup>3</sup> til 4 cm.<sup>3</sup> i Løbet af 40 Min. Hvis dette blev ved, vilde Stofskiftet synke til Nul, naar Arbejdet blev fortsat endnu i 3 Timer. Det sker selvfølgelig ikke; der maa i hvert enkelt Tilfælde være et vist Minimum, som Stofskiftet ikke kommer ned under. Hvornaar dette Minimum naas, har vi vel i Almindelighed intet Middel til at afgøre, men ved tilstrækkelig langvarige Arbejder maa det i hvert Fald kunne naas, før Arbejdet hører op. Følgelig vil det være ganske urigtigt at tænke sig Hvilestofskiftet aftagende jævnt under hele Arbejdet, og gennemfører man desuagtet Beregningen ud fra denne Forudsætning, maa man komme til meningsløse Resultater. Exempler i denne Retning er forekommet, og der skal ved Omtalen af dem blive gjort Rede for den Beregningsmaade, der da maa anses for den rigtigste. I Tabellerne er de Forsøg, hvor en afvigende Beregningsmaade er gennemført, mærkede med \* ved den første Roperiode eller \*\* ved den anden Roperiode efter Arbejdet.

### Stofskiftets Afhængighed af Opmærksomhedsanspændelsen.

Hvis en Fysiker med stor Nøjagtighed maalte en eller anden Virkning, f. Ex. en Stangs Forlængelse under forskellige Forhold, men ganske undlod at tage Hensyn til Størrelsen af de virkende Aarsager, f. Ex. de forskellige Temperaturer, saa vilde man finde det ret meningsløst, fordi der intet kunde slutes af de fundne Tal. Det samme vil naturligvis gælde paa ethvert andet Omraade. Der er ingen Mening i at bestemme Stofskiftetilvæksterne under aandelige Arbejder med størst mulig Nøjagtighed, naar man ganske undlader at tage Hensyn til de udførte Arbejders Størrelse. Det forandrer ikke i mindste Maade Sagen, at vi ikke kan maale aandelige Arbejders absolute, men kun subjektivt vurdere deres relative Størrelse. Arbejder af nogenlunde ensartet Natur kan altid ordnes i en Trinrække efter den Anstrengelse, de koster det enkelte Individ. Enhver, som overhovedet har lært at regne, vil med større eller mindre Sikkerhed kunne addere en Række encifrede Tal. Men det er kun faa Mennesker, som vil være istand til at lære to fircifrede Tal udenad og derefter multiplicere dem uden at notere noget, før Resultatet er naaet. Mellem disse to Grænser ligger de Regneopgaver, som Folk i Almindelighed er istand til at løse „i Hovedet“, og Opgavernes Vanskelighed vokser ligefrem med Komplikationen. Den Anstrengelse, en Opgave kræver, bliver desto større, jo flere Tal der samtidig

skal fastholdes. Paa andre Omraader har man ganske analoge Forhold. Skal en Ramse læres udenad, vokser ikke blot Tiden, men ogsaa Anstrengelsen i hver enkelt Øjeblik med Ramsens Længde. Der er saaledes intet til Hinder for at angive aandelige Arbejders relative Størrelse eller Vanskelighed. Og hvis den subjektive Anstrengelse, der lægges til Grund for Sammenligningen, overhovedet staar i noget Forhold til de centrale Processer under Arbejdet, saa maa man vente, at Stofskiftet vil vokse med den Anstrengelse, Arbejdet kræver. Ved Selviagttagelsens Resultater aabnes saaledes Muligheden for Konstatering af et lovmæssigt Forhold. Hvis man derimod undlader at tage Hensyn til Selviagttagelsen, den subjektive Vurdering af Arbejdernes Størrelse, er det ikke let at indse, hvorledes man vil finde Mening i de stærkt varierende Tal, som Stofskiftebestemmelserne fører til.

Hermed er Selviagttagelsens Rolle dog ikke udspillet. Det er fra det daglige Liv vel bekendt, hvorledes ikke blot ydre, men ogsaa indre Forstyrrelser, Indisposition, Optagethed af andre Tanker og fremfor alt Sindsbevægelser kan vanskeliggøre Udførelsen af et foreliggende Arbejde. Ved slige Forstyrrelser kræver det ligefrem større Anstrengelse at udføre Arbejdet end under normale Forhold, og det er derfor ogsaa højest usandsynligt, at Stofskifteforandringerne i alle Tilfælde skulde blive de samme. Hvis man nu indskrænker sig til at maale Stofskiftet uden at tage Individets Sindstilstand i Betragtning, maa man være forberedt paa for samme Arbejde at finde ret forskellige Tal, og en Forklaring af disse Variationer vilde være udelukket, da den kun kan findes i de subjektive Forhold.

Jeg skal ikke gaa nærmere ind paa Selviagttagelsens Betydning for de foreliggende Forsøg, da BECKER og OLSEN har behandlet Sagen ret indgaaende<sup>1)</sup> og anført karakteristiske Exempler paa den enorme Forøgelse af Kulsyreudskillelsen, som især Sindsbevægelser kan medføre. Det var imidlertid nødvendigt her at fremhæve de nævnte Hovedpunkter for at fastslaa, at der overhovedet ikke kan komme Mening i Forsøgene uden Hensyntagen til Selviagttagelsens Resultater. Fremfor alt maa der sondres mellem de normalt forløbende og de med Indispositioner behæftede Forsøg. De første skal behandles i dette Afsnit; de sidstnævnte kræver et særligt Kapitel, da de har givet Anledning til en Række Undersøgelser med det Formaal at faa Rede paa, hvad der kunde være Aarsag til den ofte forbavsende stærke Forøgelse af Stofskiftet, som kan fremkaldes ved ganske ringe Omstændigheder. Dernæst kommer Selviagttagelsen ogsaa i Betragtning ved Ordning af Opgaverne efter deres større eller mindre Vanskelighed. Dette har været en meget nem Sag ved de Opgaver, som her udelukkende har fundet Anvendelse, nemlig dels Hovedregning af forskellig Art, dels Udenadslæren af Ramser. Ved psykologiske Forsøg har man, med fuld Føje, saa godt som altid holdt sig til den Art Virksomheder. For det første fordi man kan tilvejebringe et ganske ubegrænset Antal Opgaver af samme Vanskelighed, saa at Forsøgene kan fortsættes, saa længe man vil, og gentages med Sikkerhed for, at Vanskeligheden stadig er den samme. For det andet

<sup>1)</sup> Anf. Skr. S. 53 - 57.

fordi Opgavernes Vanskelighed vokser med Komplikationen, med Antallet af Led, der skal fastholdes, saa at man altid kan afpasse Vanskeligheden efter Fp's Evner og Færdighed.

Som Regneopgaver er benyttet følgende fire Arter, der anføres i Rækkefølge efter voksende Vanskelighed. 1. Den saakaldte A-Test, der spiller en vis Rolle i det BINET-SIMON'ske System. Den er her anvendt i den Form, at Fp. optæller Antallet af e'er i en trykt Text, sætter en Streg i denne, naar 100 er naaet, og saa gaar videre uden at ulejlige sig med at fastholde Antallet af Hundreder. 2. Fortløbende Addition af encifrede Tal efter KRAEPELIN's Metode. Naar 100 er naaet eller netop overskredet, noterer Fp. Endecifret i Regneheftet og gaar videre med dette Tal som første Addend, saa at det stadig kun drejer sig om Addition af encifrede Tal til tocifrede. 3. Multiplikation af to trecifrede Tal i Hovedet, idet Fp. stadig har Opgaven for Øje. Saasart Resultatet er noteret, gaar Fp. videre til den næste Opgave. Til Brug for dette og det følgende Arbejde var et stort Antal Stykker, i hvilke 0 overhovedet ikke forekom, samlede i et Hefte. 4. Multiplikation af 2 trecifrede Tal, som Fp. lærte udenad, hvorefter han tildækkede Opgaven med et Stykke Karton; dette fjernedes først, naar Resultatet skulde nedskrives. Denne Fremgangsmaade er naturligvis meget vanskeligere end den foregaaende, da man stadig skal huske Opgaven, medens de successive Produkter dannes. Et objektivt Bevis herfor haves deri, at Fp. L., som udførte disse Regninger, kunde løse 20—25 Opgaver i 30 Min. med Opgaven for Øje, men derimod kun 8, naar den skulde huskes.

Til Udenadslæren er benyttet de sædvanlige Ramser af meningsløse Stavelser, der forelagdes Fp. skrevne med Rundskrift paa en Strimmel Karton i Række under hinanden. De kestes i Tempoet 80 Stavelser pr. Min. i Takt efter Metronom og betragtedes som lærte, naar Fp. kunde fremsige Ramsen fejlfrit i samme Tempo. Da Fp. selvfølgelig ikke maatte tale, kunde der ingen Kontrol føres med, at Ramsen virkelig var lært, men dette kan ogsaa betragtes som ganske overflødig overfor de paagældende øvede og i Sagen interesserede Fp. At Ramserne kræver desto større Anstrengelse, jo længere de er, blev allerede ovenfor berørt. Dog gjorde Fp. N. den Bemærkning, at det paa en Maade var „behageligere“ at lære lange Ramser end korte, fordi man blev mere fortrolig med de enkelte Stavelser. Da disse ikke skiftede saa hurtig. Meningen hermed lader sig bedst paavise ved et bestemt Exempel. Fp. N. brugte 3 Gennemlæsninger til en 8-Stavelers Ramse, men 15 Gennemlæsninger for at lære en 24-Stavelers. Da denne sidste er 3 Gange saa lang som den første og kræver 5 Gange saa mange Gennemlæsninger, tager den altsaa 15 Gange saa lang Tid. Der kan med andre Ord læres 15 8-Stavelers Ramser i den Tid, som medgaar til en 24-Stavelers, saa at man altsaa ved de korte Ramser faar 5 Gange saa mange nye Stavelser at indprente sig. Rimeligvis gør denne stadige Skiften af Materialet selve Indprentningen vanskeligere, hvilket der maa tages Hensyn til, naar en nøjagtig Formel for Associationsarbejdet skal opstilles. Men dette maa hellere opsættes, til der er fundet Udveje til Bestemmelse af selve Centralorganets Andel i Stofskifteforandringerne ved psykiske Virksomheder.



De samme Grunde, som taler for Anvendelsen af Hovedregning og Udenadslæren ved vore Forsøg, taler ligesaa bestemt imod mathematiske Opgaver, Læsning af videnskabelige Værker i fremmede Sprog o. l. Ved den Art Virksomheder er en Gentagelse i strengere Forstand udelukket. Den ene mathematiske Opgave faar Fp. maaske straks sat i Ligning, og saa er hele Resten rent mekaniske Operationer, den anden kan han muligvis slet ikke finde ud af; Indholdet af den ene Side i et videnskabeligt Værk er Fp. halvejs bekendt, den næste Side kan han maaske slet ikke finde Mening i. Ganske vist kan Fp. nok selv bedømme disse Forskelle i Vanskeligheden, men hvorledes skulde man egentlig kunne tilvejebringe ganske de samme Forhold ved et nyt Forsøg? Og Gentagelser er nødvendige, fordi man kun derved bliver istand til at paavise lovmæssige Variationer. Som det i det følgende skal vises, giver normalt forløbende Forsøg af samme Art meget nær de samme Stofskifteforøgelser, medens alle med Forstyrrelser eller Inddispositioner beheftede Forsøg fører til meget afvigende Værdier. Kan man nu ikke udføre flere Forsøg med Arbejde af samme Vanskelighed, kan man heller ikke fastslaa en Norm; de „normale“ og de „anormale“ Værdier glider jævnt over i hinanden, og al Lovmæssighed forsvinder.

Foruden de omtalte Forsøg er der tillige gjort nogle enkelte med Romanlæsning. Det er vel ikke „aandeligt Arbejde“ i strengere Forstand, men Hvile, Adspredelse. Det havde imidlertid ogsaa en vis praktisk Interesse at undersøge Forandringerne i Stofskiftet under disse Forhold.

Inden jeg gaar over til Omtalen af de enkelte Forsøg, vil det være hensigtsmæssigt at sammenstille Resultaterne fra alle de foreliggende „Normalforsøg“ og angive de Slutninger, som deraf kan drages. Derved vil adskillige Gentagelser af forskellige Bemærkninger kunne undgaas. Sammenstillingen er givet i Tab. 1, i hvis øverste Række de forskellige Arter af undersøgte aandelige Arbejder er anførte. Tabellen falder iøvrigt i to Halvdele, overskrevne  $O_2$  og  $CO_2$ ; i den første er anført de ved hvert enkelt Forsøg fundne Værdier for Iltoptagelsen, i den sidste de tilsvarende Tal for Kulsyreudskillelsen, idet de sammenhørende Værdier staar paa samme Plads i hver Gruppe. De med hver af de tre Fp., L, N og P, udførte Forsøg er holdt adskilte. Tallene angiver Stofskifteforøgelsen under Arbejdet i  $cm^3/s$ .

Af omstaaende Tabel fremgaar umiddelbart følgende Resultater:

*For samme Fp. vil det samme Arbejde medføre tilnærmelsesvis konstante Stofskifteforandringer. Dog er der ikke noget konstant Forhold mellem Tilbæksten i Iltoptagelse og i Kulsyreudskillelse; en relativt lille Værdi af den første kan jævnlig være forbundet med en relativt stor Værdi af den sidste og omvendt. Iltværdierne viser som oftest, men ingenlunde altid, mindre Variationer end Kulsyreværdierne.*

*For samme Fp. vil forskellige Arbejder medføre desto større Stofskifteforandring, jo mere anstrengende det paagældende Arbejde er. Disse Differenser kan være særdeles betydelige og fremtræder ligesaa udpræget i Kulsyre- som i Iltværdierne.*

*Samme Arbejde kan for forskellige Fp. medføre højst forskellige Stofskifteforandringer, hvilket kun er en ligefrem Følge af, at Stofskiftet vokser med Anstrengelsen.*



Tabel 1.

| Romanlæsning    |                  | Tælling, Regning  |                |  |                | Udenadslæren af Ramser paa |          |          |          |          |
|-----------------|------------------|-------------------|----------------|--|----------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| bekendt         | ny, spændende    | Optælling af e'er | Addition       | Multiplikation af 2 3-cifrede Tal med Opgaven set lært |                | 8 Stav.                    | 12 Stav. | 16 Stav. | 20 Stav. | 24 Stav. |
| O <sub>3</sub>  |                  |                   |                |  |                |                            |          |          |          |          |
| L               | — 0,218<br>0,090 | 0,129             | 0,093<br>0 052 | 0,140<br>0,127<br>0,193                                | 0,309<br>0,384 |                            |          |          |          |          |
| N               |                  |                   | 0,309<br>0,216 | 0,349<br>0,466<br>0,420                                |                | 0,481                      | 0,527    | 0,514    | 0,520    | 0,577    |
| P               |                  |                   | 0,164          | 0,244<br>0,287<br>0,228                                |                | 0,301                      |          | 0,636    |          |          |
| CO <sub>2</sub> |                  |                   |                |  |                |                            |          |          |          |          |
| L               | — 0,090<br>0,115 | 0,220             | 0,216<br>0,200 | 0,253<br>0,324<br>0,357                                | 0,406<br>0,425 |                            |          |          |          |          |
| N               |                  |                   | 0,266<br>0,150 | 0,257<br>0,333<br>0,667                                |                | 0,461                      | 0,447    | 0,500    | 0,617    | 0,649    |
| P               |                  |                   | 0,099          | 0,457<br>0,400<br>0,386                                |                | 0,306                      |          | 0,851    |          |          |

Har en Fp. mere Øvelse i eller Anlæg for et givet Arbejde end en anden, vil det ogsaa koste ham mindre Anstrengelse og følgelig medføre ringere Stofskifteforandringer.

Ved Omtalen af de enkelte Forsøg tager jeg hver Fp. for sig, men begynder her med Fp. P., da de med ham anstillede Forsøg gav Svar paa et for hele Gennemførelsen væsentligt Spørgsmaal.

P. 5, P. 6, P. 7 og P. 8 er grafisk fremstillede i Fig. 4, der er udført analogt med den tidligere omtalte Fig. 3. Ved de tre førstnævnte Forsøg adderede Fp. fortløbende; de i de enkelte Perioder udførte Antal Additioner er fremstillede i Kurverne A. Da Forsøget P. 5 havde vist ret store Svingninger i Antallet af præsterede Additioner, blev der i de to næste Forsøg, P. 6 og P. 7, taget Luftprøver for hver 5 Min. for at undersøge, om Stofskiftet varierede i Overensstemmelse med den udførte Mængde Arbejde. Figurerne viser, at dette aldeles ikke er Tilfældet. Aandedrættet er udpræget periodisk; Periodiciteten træder særlig tydelig frem i Iltoptagelsen, mindre skarpt markeret i Kulsyreudskillelsen, men er aabenbart ganske

uafhængig af Arbejdsmængden. Da der saaledes øjensynlig ikke var noget vundet ved at tage Luftprøver for ganske korte Perioder, blev ved de følgende Forsøg den tidligere omtalte Inddeling af Arbejdstiden gennemført, saa at der kun blev skiftet Spirometer og taget Prøver hvert 10. Minut.

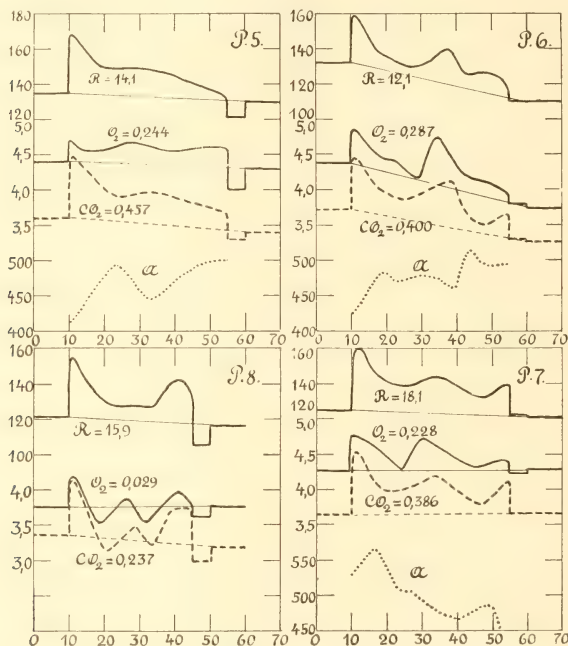


Fig. 4.

I Forsøget P. 7 var Aandedrætshyppigheden overordentlig regelmæssig, stadig svingende omkring 16 pr. Min. Faa Dage efter blev det forsøgt at tilvejebringe den samme Aandedrætshyppighed kunstig, idet Fp. trak Vejret i Takt med en Metronom, men ellers ikke udførte noget Arbejde. Af Tab. 7 fremgaar, at det lykkedes særdeles godt; ogsaa i Hvileperioderne viser P. 7 og P. 8 meget nær den samme Hyppighed. Med den kunstig forøgede Respirationsfrekvens følger ogsaa paa det nærmeste den samme Tilvækst i Aandefang, nemlig 15,9 i P. 8 mod 18,1 i P. 7 (Fig. 4). Respirationen er altsaa paa det allernærmeste i enhver Henseende den samme i de to For-

søg, men Iltoptagelsen er i Forsøget uden Arbejde kun  $0,029 \text{ cm}^2 \text{ s}$  mod  $0,228 \text{ cm}^2 \text{ s}$  i det andet. Det tør altsaa ret sikkert paastaas, at Aandedrætsorganernes Arbejde i sidste Tilfælde kun har krævet  $13 \frac{1}{100}$  af Ilthforøgelsen, og man kunde derfor være tilbøjelig til at antage, at Centralorganets Arbejde havde lagt Beslag paa Resten. Som det senere skal paavises, er denne Slutning næppe berettiget.

Da Fp. P. var en øvet og sikker Regner, faldt Additionsarbejdet ham meget let. Endnu lettere maatte A-Testen, den blotte Optælling af Bogstaver være, og Forsøget P. 11 bekræfter dette. Derimod erklærede Fp. P., at han altid havde haft meget vanskeligt ved at lære udenad. Dette passer ogsaa nok for 16-Stavelers Ramser, af hvilke Fp. i 35 Min. kun lærte 5 med gennemsnitlig 22,6 Gennemlæsninger; ligeledes er ogsaa Iltoptagelsen meget stor,  $0,636 \text{ cm}^2/\text{s}$  (P. 9). Af 8-Stavelers Ramser lærte han derimod i samme Tid 50 med gennemsnitlig 4,7 Gennemlæsninger og et Ilthforbrug af  $0,301 \text{ cm}^2/\text{s}$  (P. 13), hvilket er betydelig mindre end den tilsvarende Størrelse hos Fp. N., der havde meget let ved at lære udenad (Tab. 1). Forholdet lader sig imidlertid let forklare derved, at Fp. P. aldrig har haft videre Øvelse i at lære udenad, thi Øvelsen har erfaringsmæssig en betydelig Indflydelse paa den Letthed, hvormed Indprentningen foregaar, og denne Indflydelse maa mærkes mere paa lange Ramser end paa korte. Derfor er Fp. P. den underlegne, hvor Talen er om lange Ramser, medens han godt kan klare sig overfor de korte.

Fp. N. havde for adskillige Aar siden haft stor Færdighed i at regne; nu havde han ikke mere Øvelse end den, de fleste Mennesker faar ved det daglige Livs Opgaver. Der blev derfor med ham gennemført en længere Række Forsøg med Addition for om muligt at paavise Stofskifteforøgelsens Aftagen med voksende Mekanisering af Arbejdet. Maalet naaedes for saa vidt ikke, som Fp. trods en kort daglig Øvelse hjemme slet ikke kom til at regne mekanisk. Han hævdede selv: „Jeg regner hver Gang paa en ny Maade“. Meningen hermed var nærmest den, at han ikke adskillede de sukkessive Tal, men sprang rundt i Talrækken for at finde to eller flere Addender, der gav runde Summer. Derved bliver selve Additionen overmaade nem, men skal den blive rigtig, maa man huske, hvilke Tal man har sprunget over, og dette kan undertiden blive en ret vanskelig Hukommelseskunst. Det viste sig da ogsaa, at N.s Beregninger var behæftede med ikke faa Fejl; derimod naaede han ganske vist efterhaanden et større Antal Additioner end nogen af de andre Fp. Som Arbejde betragtet maa denne Regnemaade nødvendigvis være vanskeligere end den rent mekaniske Adderen, og det er folgelig ganske naturligt, at Iltoptagelsen for Fp. N. er dobbelt saa stor som for Fp. P. (Tab. 1) og mindst 4 Gange saa stor som for Fp. L. Det er saaledes ganske vist ikke lykkedes hos et og samme Individ at paavise Stofskiftetilvæksternes Aftagen, efterhaanden som Arbejdet mekaniseres. Men indirekte fremgaar dette dog ved en Sammenligning af de forskellige Fp., idet en Regnemaade, der kræver Overlæg og Omtanke, ses at medføre en uforholdsmæssig stor Forøgelse af Stofskiftet.

Ogsaa i andre Henseender har disse Additionsforsøg med Fp. N. været betydningsfulde, idet de jævnlige forte til ganske unormale Værdier, der gav meget væsent-

lige Oplysninger. Disse Forhold skal beskæftige os i et følgende Afsnit; her kommer foreløbig kun i Betragtning de fire Forsøg:

N. 4, N. 5, N. 8 og N. 9. Dis ses Resultater er grafisk fremstillede i Fig. 3; Kurven A angiver Antallet af udførte Additioner. Af Tab. 6 ses, at Aandedrættets Hæftighed ved de tre førstnævnte Forsøg har været overordentlig konstant: 6—7 pr. Min. i Hvile og ca. 12 under Arbejdet. Der blev derfor anstillet et lignende Forsøg som med Fp. P., idet der kunstig, uden Arbejde, blev tilvejebragt den samme Respirationshæftighed, angivet ved Hjælp af en Metronom, som under Arbejdet. Dette lykkedes ogsaa meget godt (jvf. Tab. 6), og N. 9 (Fig. 3) viser, at Forøgelsen af Aandefangtet vel er noget mindre end i Arbejdsforsøgene, men Iltoptagelsen er rigtignok kun omkring 20 % af den, der findes, naar Fp. adderer. Henvend 80 % kan altsaa skrives paa selve Arbejdets Regning, men at Centralorganet kun har udført en mindre Del af dette, skal blive paavist i det følgende Afsnit.

N. 1 og N. 2 er Forsøg med Optælling af Bogstaver. Ved det første af disse har Fp. aabenbart i Begyndelsen forceret Aandedrættet, saa at Iltoptagelse og Kulsyreudskillelse er bleve uforholdsmæssig store. Forsøget blev derfor gentaget, men ved dette andet Forsøg, N. 2, blev der uheldigvis givet Fp. en historisk Afhandling, hvis Indhold interesserede ham, saa at han læste den samtidig med, at han talte Bogstaverne. Resultatet af dette dobbelte Arbejde blev naturligvis en endnu større Stofskifteforøgelse end ved det første Forsøg. Men Iltoptagelsen,  $0,309 \text{ cm}^3/\text{s}$ , er dog i Sammenligning med de andre for Fp. N. fundne Værdier saa lille, at den viser, at Læsning af en nogenlunde let fattelig Afhandling ikke er noget stort Arbejde.

N. 12. 15 12-Stavelers Ramser lært med gennemsnitlig 8,6 Gennemlæsninger. N. 13. 10 16-Stavelers Ramser lært med gennemsnitlig 11,9 Gennemlæsninger. N. 14. 7 20-Stavelers Ramser lært med gennemsnitlig 13,9 Gennemlæsninger. N. 15. 5 24-Stavelers Ramser lært med gennemsnitlig 15,0 Gennemlæsninger. N. 16. 41 8-Stavelers Ramser lært med gennemsnitlig 3,1 Gennemlæsninger. De fundne Ilto- og Kulsyremængder er opførte i Tab. 1. Til Forsøgene er kun følgende at bemærke. I Forsøget med 8-Stavelers Ramser har Fp. aabenbart taget sig Arbejdet for let; han kunde og burde have lært adskillig flere, men har trukket Mellemrummet mellem de enkelte Ramser for langt ud. I N. 14 vil den sædvanlige Beregningsmaade føre til ganske urimelig lave Værdier i Periode IV og V, saa at Middeltallene falder helt ud af Rækken. I Henhold til det ovenfor fastslaaede Princip, at den rigtige Beregningsmaade vil være den, der giver saa vidt muligtigestore Tilvækster for de enkelte Arbejdsperioder, er derfor Hvilestofskiftet i Periode VI, og ikke som ellers i Periode VII, taget som den nedre Grænse. Naar vi i et følgende Afsnit kommer til at undersøge Aarsagen til Hvilestofskiftets Variation, vil det vise sig, at denne Fremgangsmaade er fuldstændig berettiget.

Med Fp. L. er anstillet flere Forsøg med Addition; af disse kan kun et enkelt, L. 1, betragtes som normalt. Det er fremstillet grafisk i Fig. 10, som viser, at saavel Iltoptagelse som Kulsyreudskillelse synker ret jævnt under Arbejdet fra Hvileperioden før til første Hvileperiode efter Arbejdet. Ifølge det tidligere anførte Prin-

cip er derfor Hvilestofskiftet tænkt faldende mellem disse to Grænser, saaledes som de indtegnede Skraalini'er angiver. I sidste Hvileperiode efter Arbejdet er Ilftoptagelsen derimod meget større, saa at her aabenbart er indtraadt en væsentlig Forandring i Hvilestofskiftet. Det er et ganske lignende Forhold, der i det ovenfor omtalte Forsøg N. 14 førte til en tilsvarende Ændring af Beregningsmaaden. Den paaviste Forandring i Hvilestofskiftet skal blive nærmere behandlet i det følgende. I Tab. 1 er foruden den ved Forsøget L. 1 fundne Værdi desuden opført en anden, der er uledt af et af de anormale Forsøg; dette skal ogsaa blive omtalt senere.

Til de fleste med Fp. L. anstillede Forsøg har været anvendt Multiplikation af 2 3-cifrede Tal; i nogle

Tilfælde havde Fp. Opgaven stadig for Øje, i andre maatte han lære den udenad. Af den første Art er L. 12, L. 13 og L. 16; Resultaterne er opførte i Tab. 1, og de to førstnævnte er desuden grafisk fremstillede i Fig. 15. Mellem disse Forsøg er der den Forskel, at Arbejdet i L. 16 kun varede i 35 Min., i de to andre derimod i 75 Min., for at Trætheden kunde gøre sin

Indflydelse gældende. Som vi senere skal se, vokser Stofskiftetilvæksterne under Arbejdet altid med voksende Træthed, og man kan følgelig ikke ret vel sammenligne Resultaterne af Forsøg med altfor forskellig Varighed. De i Tab. 1 opførte Værdier er derfor for L. 12 og L. 13 kun beregnede af de første 45 Minutters Arbejde, saaledes som angivet i Tab. 5. Noget lignende gælder ogsaa de to Multiplikationsforsøg, L. 8 og L. 10, hvor Fp. maatte lære Opgaven udenad. Disse er grafisk fremstillede i Fig. 5, som viser, at Arbejdet i L. 8 varede i 35 Min., i L. 10 derimod i 45 Min. Da dette Arbejde er betydelig mere anstrengende end Multiplikation med Betragtning af Opgaven, blev Fp. ogsaa hurtigere trætt og angav ikke ringe Træthed i sidste Periode af L. 10. Fig. 5 viser ogsaa, hvorledes baade Ilftoptagelse og Kulsyreudskillelse vokser stærkt i de sidste 10 Min. af Arbejdet. De i Fig. 5 anførte Tal er Gennemsnittet for hele Arbejdstiden; i Tab. 1 er derimod for L. 10 kun opført Gennemsnittet for de første 35 Min. Arbejde, hvorved der kommer god Overensstemmelse mellem de to Forsøg. Iøvrigt ses af Fig. 5, at den første Hvileperiode efter Arbejdet er taget som Hvilestofskiftets nedre Grænse i L. 8, hvilket giver tilnærmelsesvis lige store Stofskiftetilvækster i de enkelte Arbejdsperioder (jvf. Tab. 5).

Endelig er der med Fp. L. anstillet nogle Forsøg med Bestemmelse af Stof-

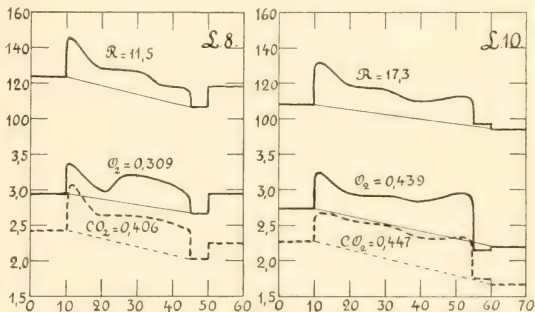


Fig. 5.



skiftet under „Morskabslæsning“, L. 11, L. 17 og L. 18. Disse maa betragtes som fuldt normale, skønt det ene af dem har givet endog ret store negative Stofskiftetilvækster under Læsningen (Tab. 1). Den nærmere Forklaring af dette besynderlige Fænomen vil lettest kunne gives ved Omtalen af beslægtede Forhold, som skal beskæftige os i det følgende Afsnit.

### Stofskiftets Afhængighed af Dispositionen.

Disposition tages her, i Mangel af en anden kort Betegnelse, i noget videre Betydning end den sædvanlige. Jeg tænker derved ikke saa meget paa den større eller mindre Oplagthed til Arbejde, hvis Aarsag Individet jævnligen selv ikke er istand til at angive, som paa alle de indre Momenter, der kan fremkalde en Ændring i Fp.s Koncentration paa Arbejdet. Utilpashed, Søvnighed, Optagethed af andre Tanker, Ærgerrighed efter at naa det bedst mulige Resultat osv. er forskellige Momenter, som kan bringe Fp. til „at tage sig sammen“ for at udføre det forlangte Arbejde paa bedste Maade. I den modsatte Retning virker en vis Følelse af Overlegenhed, som kan melde sig, naar Fp. bliver stillet overfor en Opgave, han anser for meget let og fuldstændig behersker. Denne Emotion behøver dog ikke i mindste Maade at have til Følge, at Fp. tager sig Arbejdet for let og præsterer mindre, end han er istand til. Differensen kan i hvert Fald være ganske ubetydelig, men den fuldstændige Overlegenhed over og Fortrolighed med Arbejdet synes at være Betingelsen for, at dette skal blive udført paa den mest økonomiske Maade. Det er alle saadanne indre Momenter, som Fp. maa kunne iagttage hos sig selv og gøre Rede for; de har en saa væsentlig Indflydelse paa Stofskiftet, at der overhovedet ikke kan komme Mening i Forsøgene, medmindre der tages Hensyn til dem.

Som tidligere berørt, blev en stor Del af de med Fp. N. anstillede Additionsforsøg paavirkede af slige Forhold. Alle disse Forsøg, N. 3, N. 6, N. 7 og N. 11, er grafisk fremstillede i Fig. 6. Sammenlignes den med Fig. 3, der gengiver samme Fp.s Normalforsøg, ses Iltoptagelsen at være henimod dobbelt saa stor, medens Kulsyreudskillelsen er yderst uregelmæssig, snart meget stor, snart relativ ringe. Ved alle disse Forsøg har Fp. selv angivet, at Arbejdet blev paavirket af forskellige uvedkommende Momenter. Ved N. 3, som var denne Fp.s første Additionsforsøg, gjorde sig gældende en vis Ængstelse for ikke at kunne præstere ligesaa meget som de andre, mere øvede Fp. I Forsøget N. 6 var Fp. optaget af Ideerne til et Arbejde, han havde planlagt, hvorfor han maatte tage sig stærkt sammen. Ved N. 7 var Lokaleets Temperatur for lav, saa at Fp. frøs lidt trods Uldtæppet, da han i Forvejen var noget forkølet. Særlig interessant er dog N. 11. I Slutningen af Periode III fik Fp. den Ide, at han ikke arbejdede tilstrækkelig ivrigt, hvorfor han „tog sig sammen“. Fig. 6 viser, at der netop her indtræder en ret betydelig Forøgelse saavel af Aandeføngel som af Iltoptagelse og Kulsyreudskillelse. Den første fortager sig snart igen, men de to sidste vedbliver at bestaa under hele Arbejdet. Tab. 6 viser, at Iltoptagelsen i de to første Arbejdsperioder er forøget ganske som under et Normalforsøg; i de

tre sidste Arbejdsperioder er Tilvæksten derimod dobbelt saa stor, nemlig  $0,91 \text{ cm}^3/\text{s}$  mod  $0,46 \text{ cm}^3/\text{s}$ .

Det er saaledes en ikke helt ubetydelig Forøgelse af Stofskiftet, som denne Tagen-sig-sammen har afstedkommet, og Spørgsmaalet bliver da, hvortil den store Iltmængde er forbrugt. At den skulde medgaa til Nervesystemets forøgede Arbejde tør vel betragtes som udelukket, især da den præsterede Arbejdsmængde slet ikke vokser, men kun holder sig konstant. Det er allerede noget, thi Arbejdskurverne A saavel i Fig. 3 som i Fig. 6 viser, at Arbejdsmængden for denne Fp. regelmæssig synker henimod Slutningen; kun i N. 11 er Mængden konstant. En saadan Ubetydelighed kan dog næppe kræve en Fordobling af Iltforbruget, og da Muskelbevægelser faktisk ikke har fundet Sted, synes der kun at være én Forklaring mulig: en større Koncentration af Opmærksomheden medfører ligefrem en forhøjet Muskeltonus. Hvis vi gaar ud fra, at enhver sjælelig Anspændelse blandt andet ytrer sig ved en Spænding i bestemte Muskelgrupper, bliver Sagen forstaaelig. Ganske vist véd vi endnu meget lidt om, hvilken Indflydelse en Forøgelse af Muskeltonus har paa Stofskiftet: „A detailed study of the effect of muscular tone upon metabolism is certainly one of the chief desiderata in the physiology of the expiratory exchange“<sup>1)</sup>. Men at en Forhøjelse af Muskeltonus vil medføre et forøget Stofskifte, synes at være en

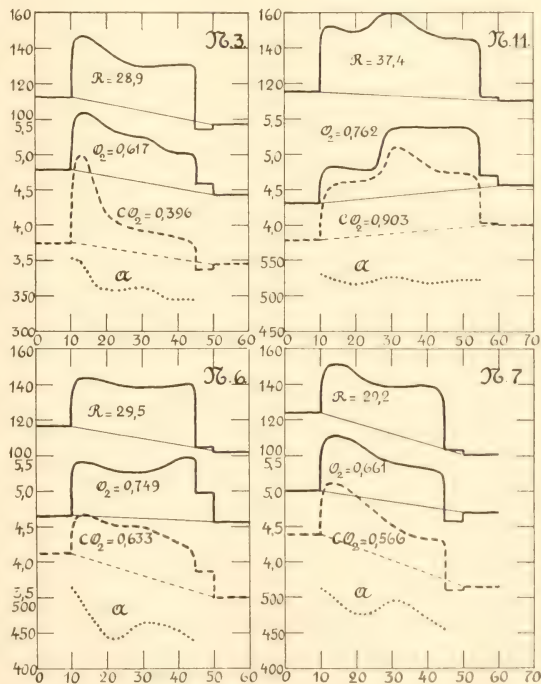


Fig. 6.

<sup>1)</sup> KROGH: The respiratory exchange of animals and man. London 1916. S. 59.

ligeftrem Følge af det Faktum, at der eksisterer en statisk Muskelvirksomhed, der kun kan vedligeholdes ved Transformation af Musklernes kemiske Energi<sup>1)</sup>. Hvis en Muskelgruppe holdes spændt f. Ex. for at forhindre en Vægt fra at synke mod Jorden, saa præsteres der intet ydre Arbejde, men Stofskiftet forøges, og desto mere jo større Vægten er. Tænker vi os nu Muskelspændingen modvirket, ikke ved en Vægt af bestemt Størrelse, men derimod ved en tilsvarende Spænding i de antagonistiske Muskler, saa forandres Situationen derved aldeles ikke. Der præsteres til Stadighed intet ydre Arbejde, kun er der til den oprindelige Muskelspænding kommen Antagonisternes Spænding, hvorved Stofskiftet yderligere maa forøges. Da en Forøgelse af Muskeltonus, hvorved ingen ydre Bevægelse indtræder, kun er mulig paa den Maade, at modsat virkende Muskelgruppers Spænding holder hinanden i Ligevægt, saa maa en saadan Tonusforhøjelse nødvendigvis medføre et forøget Stofskifte. Tilvæksten maa blive desto større, jo flere Muskler der træder i Virksomhed, og jo større Spændingen bliver i disse; derfor kan saa smaa Tilvækster som de, det her drejer sig om at forklare, med Lethed tilvejebringes ad den Vej. Det skal senere blive paavist (jvf. Fig. 14 og Forklaringen til denne), at et ingenlunde særlig voldsomt Muskelarbejde kan medføre en Tonusforøgelse, som efter Arbejdets Ophør vedbliver at bestaa i nogen Tid og kræver en Forøgelse af den oplagne Iltmængde paa 0,5 cm<sup>3</sup>/s. Dette er adskilligt mere, end der er Tale om ved de i Fig. 6 fremstillede Forsøg.

Efter det anførte kan der næppe være nogen Tvivl om, at en Forhøjelse af Muskeltonus kan forklare de anormale Stofskiftetilvækster ved de omtalte Forsøg. Spørgsmaalet bliver saaledes blot, om der kan føres noget Bevis for Rigtigheden af den opstillede Hypotese: at en særlig stærk Koncentration af Opmærksomheden paa et aandeligt Arbejde medfører en forøjet Muskeltonus. Inden jeg gaar over til at omtale de Forsøg, der er anstillede for om muligt at faa dette Spørgsmaal besvaret, vil det være hensigtsmæssigt at gøre Rede for en Række andre Forsøg, hvis højest besynderlige Resultater i Virkeligheden lader sig forklare ved den samme Hypotese. Det første af disse, P. 10, maatte nødvendigvis, saalænge det stod isoleret, betragtes som mislykket, skønt Maalefejl af en saa gennemgribende Natur maatte anses for udelukkede. Det er imidlertid netop slige „mislykkede“ Forsøg, der er de mest lærerige, naar man først har fundet punctum saliens. Resultaterne er fremstillede paa sædvanlig Maade i Fig. 7. Saavel Iltoptagelse som Kulsyreudskillelse faar i Begyndelsen af Arbejdet smaa Tilvækster, men aftager derefter saa stærkt, at den gennemsnitlige Stofskifteforøgelse bliver negativ. Aarsagen til denne Forandring kan næppe være tvivlsom. Det Arbejde, Fp. skulde udføre, var en Optælling af e'erne i en forelagt trykt Tekst, men paa Grund af mangelfuld Instruktion gav Fp. sig til at tælle samtlige Bogstaver, hvilket er ret anstrengende, naar man kun maa lade Øjnene glide hen over Teksten og ikke maa tage en Finger tilhjælp. Forsøgslederen op-

<sup>1)</sup> TIGERSTEDT: Die Physiologie des Stoffwechsels, i Nagels Handbuch der Phys. des Menschen, Bd. 1 S. 456. KROMAN: Laws of muscular action. Kgl. danske Videnskabernes Selskabs Biologiske Meddelelser, I, 1. Kbhvn. 1917, S. 11.

dagede imidlertid Fejlen og gav efter 10 Min. Forløb Fp. Instruktion om at ændre Arbejdet og kun tælle e'er. Dette følte af Fp. som en meget betydelig Lettelse, fordi Opmærksomheden ikke behøvede at være nær saa stærkt spændt. Gaar vi nu ud fra den opstillede Hypotese, at en særlig Anspændelse af Opmærksomheden medfører forhøjet Muskeltonus og dermed forøget Stofskifte, saa er det indlysende, at en Slappelse af Opmærksomheden maa have formindsket Muskeltonus og et mindre Stofskifte til Følge. Netop dette viser Forsøget P. 10, og dettes anormale Forløb er saaledes fuldt forklarligt.

Det ligger nær at formode, at de negative Tilvækster i P. 10 skyldes den Omstændighed, at Fp. gaar over fra et vanskeligt til et let Arbejde. Erfaringen lærer imidlertid, at en saadan Forandring af Arbejdets Art aldeles ikke behøver at finde Sted, for at Arbejdet skal medføre formindsket Stofskifte.

Betingelsen er blot den, at Fp. er ganske fortrolig med Arbejdet, finder det let og derfor slet ikke anspænder sig. Dette var netop Tilfældet med de to Forsøg L. 3 og L. 6 (Fig. 8), hvor Arbejdet var fortløbende Addition, som Fp. besad stor Øvelse i. Begge Forsøg viser i Begyndelsen af Arbejdet en betydelig Formindskelse af Stofskiftet, som omtrent ved Midten af Arbejdstiden igen naar op til Hvilestofskiftets Størrelse. Tilsyneladende er

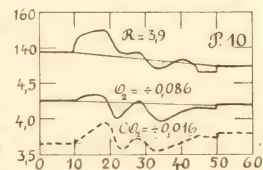


Fig. 7.

det vel ganske gaadefuldt, hvorledes et Arbejde, der normalt medfører en Stofskifteforøgelse, overhovedet kan præsteres, naar Stofskiftet nedsættes. Men det mystiske forsvinder, naar Tonusforandringerne tages med i Betragtning. Ti selv om Fp. sidder godt støttet i en magelig Stol, har Kroppens Muskler dog en vis Tonus, før Arbejdet begynder. Hvis nu Musklerne uvilkaarlig slappes under Arbejdet, fordi Fp. ikke finder det nødvendigt at anstrenge sig, saa maa Stofskiftet kunne blive betydelig nedsat, selv om ogsaa Arbejdet kræver en vis Del deraf. Maalingsresultatet bliver da ligefrem Differensen mellem den positive Tilvækst, som Arbejdet medfører, og den negative, der er en Følge af Tonuslappelsen. Og er denne sidste numerisk størst, bliver hele Resultatet negativt. Konsekvensen heraf er, at den samme Tonuslappelse uden noget samtidigt Arbejde maatte have en endnu større Stofskifteformindskelse til Følge. Det var da Umagen værd at forsøge, om dette virkelig lod sig paavise eksperimentalt.

Nøjagtigt kan et saadant Forsøg naturligvis ikke blive, da vi intet Middel har til at kontrollere Tonuslappelsen. Man kan ikke gøre andet end at slappe Musklerne saa meget, som den givne Stilling tillader, og tillige tilvejebringe den samme Respirationfrekvens som under Arbejdet, idet man lader en Metronom angive Tempoet. De to Forsøg, L. 2 og L. 4 (Fig. 8), viser Resultaterne af denne Fremgangsmaade. I L. 2, hvor Aandedrætshyppigheden var 12 pr. Min., gik alt efter Ønske, Stofskiftet er, som Figuren viser, stærkere nedsat end i Forsøgene med Arbejde. L. 3 og L. 6. Differensen mellem den i L. 2 og L. 3 optagne Iltmængde er 0,192 — 0,139 = 0,053; denne er opført i Tab. 1 og afviger ikke altfør meget fra den direkte



maalte positive Værdi. Men i L. 3 var Hyppigheden til Tider nede paa 10 pr. Min., og det var altsaa muligt, at Stofskiftet kunde nedsættes endnu mere, hvis Aandedræthypigheden blev bragt saa langt ned. Det blev forsøgt i L. 4, men Forsøget mislykkedes totalt, fordi Fp. faldt i Søvn efter at have vedligeholdt det meget søvndyssende Aandedræt i 15 Min. Søvnens varede kun et Par Sekunder, saa før han op med et Ryk og anstrengte sig i Resten af Tiden for at vedligeholde det fore-

skrevne Tempo uden at sove. Men denne Anstrengelse har, som enhver Opmærksomhedsanspændelse, haft en Stofskifteforøgelse til Følge, og det samlede Resultat bliver, som Figuren viser, en ganske ringe Forøgelse af Ilt-optagelsen.

Ved Forsøgene L. 2 og L. 4 synes allerede at være ført et direkte Bevis for Rigtigheden af Hypotesen om Opmærksomhedens Indflydelse paa Muskeltonus. I begge Tilfælde er der nemlig tilvejebragt en vilkaarlig og bevidst Muskelslappelse, der ytrer sig ved formind-

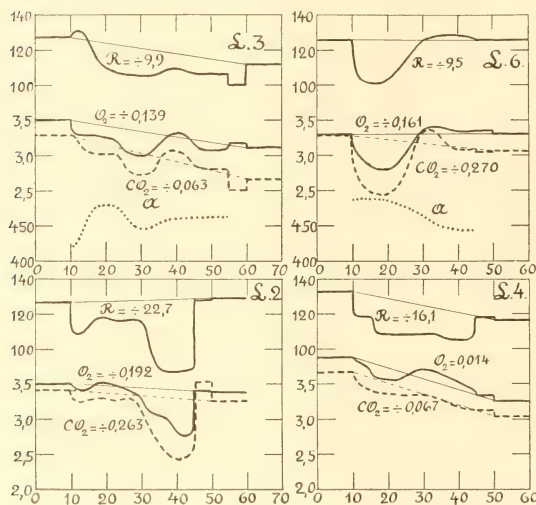


Fig. 8.

sket Stofskifte. I L. 2 aftager Stofskiftet under hele Forsøget, i L. 4 forøges det derimod pludselig, og da ingen anden Aarsag lader sig paavise end Fp.s Anstrengelse for at holde sig vaagen, saa synes denne Anspændelse altsaa virkelig at have den hypotetisk antagne Virkning. Herimod lader sig dog rejse en Indvending. Mosso har paavist, at man ved formindsket Aandedræthypighed meget godt kan vedligeholde et normalt Stofskifte i 10—25 Min., selv om Aandefanget aftager betydelig, og Bonn har beregnet, at Vedligeholdelsen af det normale Stofskifte endnu er muligt, naar Aandefanget er sunket til 56 % af den normale Størrelse<sup>1)</sup>. Naturligvis er en stærk Formindskelse af Aandefanget, naar Stofskiftet skal vedligeholdes, kun mulig derved, at der optages en større Procentdel af Indaandingsluftens Ilt. Dette

<sup>1)</sup> Blutgase und respiratorischer Gaswechsel, i Nagels Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 1, Braunschweig 1909, S. 173.



har nu faktisk fundet Sted under Forsøget L. 2; i de første 20 Min. af det forandrede Aandedræt sker der saa godt som intet, men i de sidste 15 Min. stiger den optagne Iltprocent fra 2,73 i Hvile til 3,09. Det var altsaa tænkeligt, at der — trods Fp.s bevidste Slappelse af alle Muskler — slet ikke har fundet nogen Tonusforandring Sted, men at det kun drejer sig om en bedre Udnyttelse af Indaandingsluften ved formindsket Aandefang; i saa Fald beviser Forsøget aabenbart intet. Som Kontrol har jeg derfor anstillet et andet Forsøg, L. 14. Fp. sad her paa en almindelig Stol uden Støtte for Ryggen og havde til Opgave, dels at holde sig saa rank som muligt, altsaa vedligeholde Kropmuskulaturens Tonus, dels at nedsætte Aandefanget stærkt ved Formindskelse af Aandedrætshyppigheden. Ved uforandret Muskeltonus maatte en meget stærkere Udnyttelse af Indaandingsluften ventes end i L. 2, hvor Organismen paa Grund af Muskelslappelsen kunde nøjes med mindre Ilt. Der er dog ikke nogen væsentlig Forskel mellem de to Forsøgs Resultater. Iltprocenten stiger i L. 14 fra 2,43 til 2,84 altsaa med 0,41 %, medens den i L. 2 steg med 0,36 %. Desuden aftager Iltoptagelsen i L. 14 med  $0,377 \text{ cm}^3/\text{s}$ , medens den i de tilsvarende 15 Min. af L. 2 aftager med  $0,393 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Der er altsaa virkelig i Forsøget med Muskelslappelse en ringere Udnyttelse af Indaandingsluften og en større Nedsættelse af Iltoptagelsen, men Differenserne er rigtignok for smaa til at have nogen Betydning. Den eneste sikre Forskel mellem de to Forsøg er den, at Fp. under Anstrengelsen for at bevare Muskeltonus momentvis følte sig paa Grænsen af Bevidstløshed og tillige kom i Sved, medens der ikke var Spor af slige ubehagelige Fornemmelser ved Muskelslappelsen. Men denne subjektive Forskel kan ikke forklare, hvorfor der ingen objektiv Forskel er paa Forsøgsresultaterne.

Kontrollforsøget er altsaa slaaet fejl, og da Resultaterne i L. 2 og L. 14 er meget nær de samme, bliver Spørgsmaalet blot, hvor Fejlen er begaaet. Her synes nu ikke ret vel at kunne være Tvivl. For det første er det meget nemt, naar man halvvejs ligger i en magelig Stol, at slappe Musklerne saa meget som muligt, hvorimod man vanskelig kan indestaa for Vedligeholdelsen af en konstant Spænding. Især i de Momenter, hvor Fp. var ved at tabe Bevidstheden, kan en Muskelslappelse let være indtraadt uden hans Vidende. For det andet er der i begge Forsøgene en betydelig Formindskelse af Iltoptagelsen. Det er let forstaaeligt, hvis Muskelspændingen er aftaget, da Organismens Iltbehov derved bliver mindre, hvorimod det ikke er let at indse, hvorledes samtlige Funktioner kan foregaa uforstyrrede trods et stærkt nedsat Stofskifte. Begge de anførte Kendsgerninger tyder paa, at det maa være Forsøget L. 14, der er slaaet fejl, idet Fp. ikke har været istand til at overholde Instruksen: den uforandrede Muskeltonus. Jeg har iøvrigt gentaget Forsøget, idet Aandefanget ikke blev mere formindsket, end at Fp. stadig var ved fuld Bevidsthed og efter bedste Evne søgte at vedligeholde Muskeltonus. Ikke desto mindre blev Iltoptagelsen ringere, saa at en Slappelse af Muskeltonus synes at være en uundgaelig Følge af en vilkaarlig Formindskelse af Aandefanget. Dette strider ikke mod Bonus Fremstilling, thi hans Betragtninger er rent teoretiske, og han anfører intet eksperimentalt Bevis for, at et Menneske kan formindske Aandefanget og desuagtet optage

saa megen Illt, at Stofskiftet forbliver uforandret. Hvorledes det forholder sig hermed, maa Fysiologerne afgøre; hvad der ikke er lykkedes for mig, kan maaske lykkes for andre, men for det foreliggende Problem er dette ganske irrelevant. Spørgsmaalet var her blot, om den ved samtidig vilkaarlig Muskelslappelse og Nedsættelse af Aandedræts hyppigheden iagttagne Formindskelse af Stofskiftet skyldtes Tonusforandringen. Dette kan ikke ret vel omtvistes, fordi det ikke er lykkedes at vedligeholde et uforandret Stofskifte ved vilkaarlig Formindskelse af Aandefanget. Tværtimod er det ret sandsynligt, at Organismen, naar den tvinges til at nøjes med en ringere Mængde Indaandingsluft, saa vidt mulig afpasser sit Behov derefter ved en reflektorisk indtrædende Muskelslappelse. Men dette er som sagt et rent fysiologisk Problem, der ikke skal forfølges nærmere her.

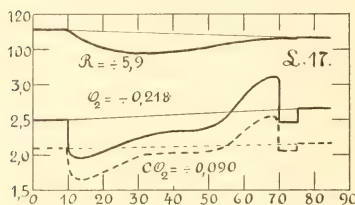


Fig. 9.

Fig. 7 og 8 viste Eksempler paa aandelige Arbejder, der medførte negative Stofskiftetilvækster, fordi Fp. kunde udføre dem med en vis Magelighed. Gælder dette om Arbejde i egentlig Forstand, maa det naturligvis ogsaa gælde om saadanne psykiske Virksomheder, der ikke i Almindelighed regnes for Arbejde, men betegnes som Morskab, Adspredelse, Hvile. At dette virkelig er Tilfældet, fremgaar af Fig. 9. Fp. læste her en af ham selv valgt Fortælling, som

han kendte saa godt, at den ikke i nogen Maade var „spændende“, men som han dog satte saa megen Pris paa, at det var ham en Fornøjelse at læse den en Gang endnu. Stofskiftet er, som Figuren viser, betydelig nedsat, og L. 17 viser ganske de samme Forandringer som L. 3 og L. 6 (Fig. 8), idet Tilvæksterne i Begyndelsen af „Arbejdet“ er negative, men i Slutningen positive eller Nul. En lignende Tendens er der ogsaa i Forsøget P. 10 (Fig. 7); det maa nemlig her erindres, at de første 10 Min. Arbejde var vanskeligt og medfører positiv Tilvækst, og først derefter kommer det lette Arbejde med Stofskifteformindskelse. Her synes altsaa i alle disse Tilfælde at gøre sig en vis Lovmæssighed gældende, hvis Aarsag skal blive Genstand for Undersøgelse i det følgende Afsnit.

Inden vi nu gaar videre, vil det være praktisk at sammenfatte Resultaterne af de i dette Afsnit omtalte Forsøg. Lader vi derved foreløbig den hypotetiske Fortolkning af disse Resultater ude af Betragtning, kan følgende fastslås:

Naar Fp. af en eller anden Grund føler sig mindre disponeret til at arbejde, saa at han maa anspænde sig stærkt for at præstere det forlangte, vil Stofskiftet derved faa en som oftest endog meget betydelig Tilvækst udover den under normale Forhold forekommende Forøgelse.

Hvis Fp. derimod af en eller anden Grund finder Arbejdet særlig let, saa at det kan udføres i Magelighed, eller den sjælelige Virksomhed overhovedet kun er at betragte som Adspre-

*delse, Hoile, saa kan Stofskiftet blive saaledes nedsat, at den gennemsnitlige Tilvækst er negativ.*

Den første af disse Sætninger er nærmest en ligefrem Følge af den ved Normalforsøgene fastslaaede Lovmæssighed: Stofskiftet vokser med den Anstrengelse, et Arbejde kræver. Hvis et givet Arbejde, formedelst ydre eller indre Forstyrrelser, bliver særlig vanskeligt at udføre, saa at Individet maa anstrenge sig mere, maa dermed ogsaa Stofskiftet vokse; det er Opmærksomhedsanspændelsen, ikke Arbejdets Art, der betinger Stofskifteforandringen. Den sidste Sætning derimod maa vel nok siges at indeholde noget nyt, da det næppe paa Forhaand lod sig afgøre, at en sjælelig Virksomhed kan medføre en Formindskelse af Hvilestofskiftet. Men da saavel de anormalt store positive som de negative Stofskiftetilvækster ikke kan være forårsagede ved selve Centralnervesystemets Arbejde, kræver disse en særlig Forklaring. I det foregaaende er allerede paavist, at

*de fundne Afvigelser fra de normale Stofskifteforandringer under sjælelig Virksomhed lader sig forklare ved, at en Anspændelse eller Slappelse af Opmærksomheden medfører tilsvarende Forandringer i Musklernes Tonus, hoorned Stofskiftet forøges eller formindskes.*

I det følgende Afsnit skal en nærmere Bevisførelse for denne Hypoteses Rigtighed forsøges.

### Stofskiftets Afhængighed af Tonusforandringer.

Følgende Betragtning synes at kunne føre til et direkte Bevis for den opstillede Hypoteses Rigtighed. Stofskiftet kan ifølge Sagens Natur for enhver given Fp. ikke komme ned under et vist Minimum. Hvis Fp. nu ved fuldstændig Slappelse af Musklerne og den størst mulige legemlige og sjælelige Ro søger at nærme sig dette Minimum saa meget som muligt og derefter begynder Arbejdet, saa maa dette nødvendigvis medføre en Forøgelse af Stofskiftet. Formindskes kan det nemlig ikke, saafremt Minimum virkelig er naaet. Uforandret kan det ifølge Hypotesen heller ikke blive. Thi ved størst mulig sjælelig Ro maa enhver selv nok saa let sjælelig Virksomhed have nogen Anspændelse af Opmærksomheden til Følge. Saafremt Hypotesen altsaa er rigtig, d. v. s. saafremt enhver Opmærksomhedsanspændelse medfører en Tonusforøgelse, maa under de givne Betingelser et hvilket som helst Arbejde medføre positive Stofskiftetilvækster. Paa denne Maade maa man kunne faa et nogenlunde paalideligt Maal ogsaa for de Arbejder, der som oftest medfører negative Tilvækster, men ganske vist kun under den Forudsætning, at Opmærksomheden ikke anspændes stærkere end netop nødvendigt for Arbejdets Udførelse. Hvis Fp. derimod, paa Grund af den vilkaarlig tilvejebragte Slappelsestilstand, maa tage sig stærkt sammen for at faa Arbejdet udført, vil Stofskiftet, ifølge vore tidligere Erfaringer, aabenbart kunne forøges langt ud over, hvad Arbejdet egentlig kræver. Forsøgene viser, at det sidste faktisk indtræder, saa at den i Hviletilstanden foreliggende Muskeltonus faar en meget væsentlig Indflydelse paa Stofskiftet under Arbejdet.

Til Undersøgelse af Sagen er der anstillet to Forsøg, L. 9 og P. 15. Ved Forsøget L. 9 blev Aandedrættshyppigheden nedsat til 12 pr. Min. efter Metronom, medens Fp. samtidig slappede alle Muskler det mest mulige, og først da Aandefanget paa

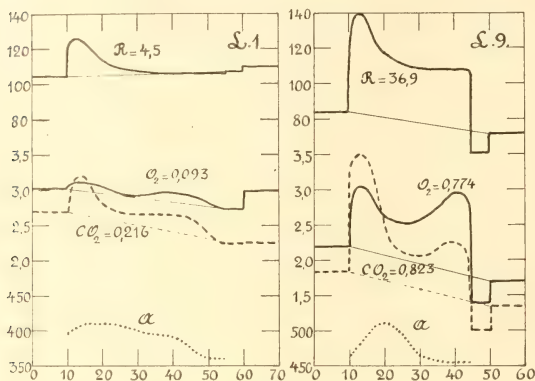


Fig. 10.

denne Maade var bragt ned til omtrent  $\frac{2}{3}$  af det normale, begyndte Registreringen. Denne Indledning gaar altsaa forud for den i Fig. 10 fremstillede Hviletilstand. Arbejdet var fortløbende Addition, og Figuren viser, at det medfører en mægtig Forøgelse af Stofskiftet. Til Sammenligning er i Fig. 10 ogsaa gengivet Forsøget L. 1, der vel nærmest er et Normalforsøg. Ved Arbejdets Ophør i L. 9 synker Stof-

skiftet ned under Hvileværdien for Arbejdet, hvilket aabenbart godtgør, at Fp.s Bestræbelser for at sætte det ned til Minimum allerede før Arbejdet ikke er lykkedes. Forsøget P. 15 afviger kun i to Henseender fra L. 9. For det første benyttede Fp. ikke nogen Metronom til Regulering af Aandedrættet, men nedsatte Hyppigheden efterhaanden som Muskelslappelsen indtraadte. Dernæst var Arbejdet det for denne Fp. særlig vanskelige: Udenadlæren af 16-Stavelers Ramser. Resultatet er gengivet i Fig. 11, hvor dog ikke Aandefang, men kun Iltoptagelse og Kulsyreudskillelse er fremstillet. Til Sammenligning er her medtaget de samme to Størrelser fra Forsøget P. 9, der var anstillet et halvt Aar tidligere ligeledes med Udenadlæren af 16-Stavelers Ramser. Figuren viser, at Stofskiftet i P. 15 ikke er stort mere end Halvdelen af det i P. 9 i Hvileperioden før Arbejdet; Tilvæksten under Arbejdet er noget større i P. 15 end i P. 9, men Differensen er ikke tilnærmelsesvis saa stor som mellem L. 1 og L. 9. Fremdeles ses, at i P. 15 er Stofskiftet efter Arbejdet noget lavere end før Arbejdet; det er altsaa heller ikke her, ligesaa lidt som i L. 9, lykkedes Fp. vilkaarligt at bringe det ned til Minimum. Endelig er der i P. 15 ved H. en yderligere Forøgelse af Stofskiftet. Den kom istand

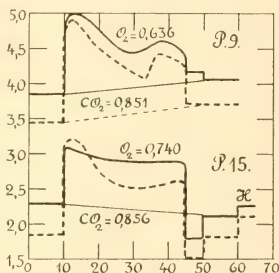


Fig. 11.



derved, at Forsøgslederen opfordrede Fp. til at forestille sig, at han paa et givet Signal skulde løbe Hurtigløb. Disse Forestillinger havde til Følge, at Aandedræts-hypigheden hurtig gik op fra 12 til 15 pr. Min., og dermed voksede ogsaa Stofskiftet. Fp. angav at mærke en tydelig Forøgelse af Spændingen i Hændernes og Armenes Muskler.

Sammenholdes disse Forsøg med de tidligere, der førte til negative Stofskiftetilvækster, synes Resultatet at maatte blive:

*En Anspændelse af Opmærksomheden medfører forhøjet Muskeltonus og dermed en Forøgelse af Stofskiftet, medens en Slappelse af Opmærksomheden har den modsatte Virkning.*

Opmærksomhedens Indflydelse paa Muskeltonus har vi ifølge Sagens Natur kun kunnet paavise i extreme Tilfælde. Kun fordi Opmærksomhedsanspændelsen og dermed Stofskiftet under særlige Omstændigheder overskred eller sank ned under en vis Norm, blev Antagelsen af Tonusforandringer nødvendige for disse Tilfælde. Hvilken Rolle Forandringer i Muskeltonus spiller i alle de Forsøg, hvorved selve Normen fastslaaes, lader sig selvfølgelig ikke afgøre. Men at de er medvirkende, kan overhovedet ikke betvivles, thi ellers maatte der aabenbart for hver enkelt Art af Arbejde existere en Slags psykofysiologisk Nulpunkt, hvor Opmærksomheden ingen motorisk Virkning havde, medens den gav sig et positivt eller negativt motorisk Udslag, saasomt den kom over eller under Nulpunktet. Noget saadant er vel ikke utænkeligt men yderst usandsynligt, da ingen foreliggende Erfaringer peger i den Retning. Det naturligste er da at antage, at Opmærksomheden i alle Tilfælde medfører Tonusforandringer, og det maatte derfor blive Opgaven at paavise dem. Det hertil anvendte Apparat er ovenfor (S. 8) beskrevet; det blev kun benyttet ved to Forsøg, L. 8 og L. 11, da Resultaterne herfra var aldeles afgørende.

L. 8 er det tidligere (Fig. 5, S. 25) omtalte Forsøg med Multiplikation af to trecifrede Tal, hvor Fp. lærte Opgaven udenad. Det ses let, at et saadant Arbejde maa blive desto mere anstrengende, jo længere man naar henimod Resultatet af den enkelte Opgave, fordi Antallet af Cifre, der skal huskes, stadig vokser. Fra Begyndelsen har man kun de 6 givne Tal at huske, men efterhaanden som Regningen skrider frem, skal desuden de vundne Resultater huskes samtidig med, at man fastholder Mellenregningerne. Opmærksomhedsanspændelsen vokser saaledes jævnt fra Begyndelsen til Slutningen, og synker derpaa til Nul umiddelbart før en ny Opgave tages under Behandling. I Fig. 12 er gengivet et Stykke af de under Forsøget paa Kymograffromlen optegnede Kurver. Forklaringen paa disse er givet ved Fig. 2; her interesserer os kun Spændingskurverne S. Af disse findes to Stykker, den nederste taget under Arbejdet, den øverste i Hvileperioden efter Arbejdet. Den førstnævnte viser tilvenstre et Maksimum med en Del uregelmæssige Svingninger; disse fremkom, da Fp. noterede Resultatet af den foregaaende Udrekning. Man ser altsaa heraf, at endog smaa Skrivebevægelser med højre Haand medfører paavise-lige Tonusforandringer i venstre Haand, i hvilken Registrerapparatet var anbragt. I samme Moment, hvor Fp. tager fat paa en ny Opgave, begynder Spændingskurven



at stige, altsaa Fingrenes Muskeltonus at vokse, og dette sker saa jævnt og regelmæssigt, at det er ganske udelukket, at det kan skyldes en vilkaarlig Bevægelse; denne vilde straks røbe sig ved ganske uregelmæssige Svingninger. Desuden havde Fp. mere end nok at gøre med at løse Regneopgaven, saa at han umulig kunde have nogen Opmærksomhed tilovers for Haandens Bevægelser. Som det var at vente, naar Kurven et nyt Maximum ved Opgavens Slutning, hvor der optræder lignende Uregelmæssigheder, hidrørende fra Skrivebevægelser, som før dens Begyn-

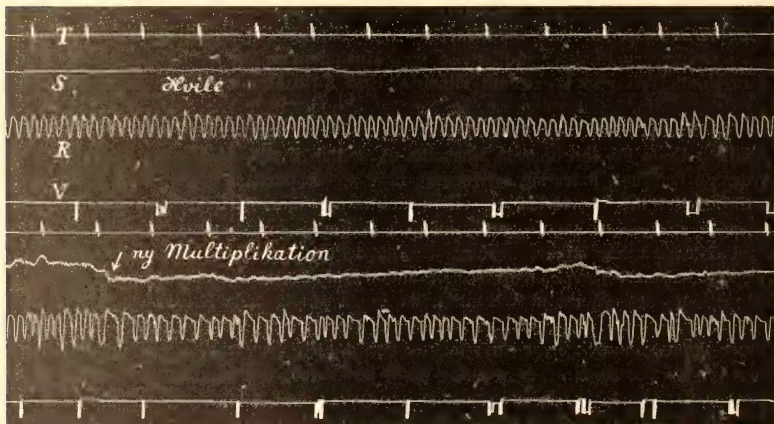


Fig. 12.

delse. Derefter falder Kurven brat for atter at stige ved den næste Opgave. Under Lupe kan man, i hvert Fald i Originalkurven, tydelig se, at Pulsfrekvensen er større ved Slutningen end ved Begyndelsen af en Opgave. Dette stemmer med DODGE's Iagttagelse, at Pulsfrekvensen er et ret sikkert Maal for Opmærksomhedsanspændelsen <sup>1)</sup>.

Det fremgaar altsaa af det anførte, at Koncentrationen paa en sjælelig Virksomhed medfører ikke blot de bekendte, synlige Forandringer i Ansigtets Muskulatur, men tillige Forandringer i Hændernes — og rimeligvis ogsaa Armenes — Muskeltonus, der vokser med Anspændelsens Styrke. Dette Resultat er i flere Henseender af teoretisk Interesse, hvilket nærmere skal blive paavist i Slutningskapitlet. Der er dog et Punkt, som vi straks maa gaa ind paa, da det er af Betydning for de følgende Undersøgelser.

<sup>1)</sup> Mental work. A study in Psychodynamics. The psychological review, Vol. 20, 1913, S. 34 o. f.

Der er hidtil næppe givet noget fyldestgørende Svar paa det Spørgsmaal, hvorfra Fornemmelsen af større eller mindre Anstrengelse ved sjælelig Virksomhed egentlig hidrører. Man gaar, vistnok med Rette, altid ud fra, at en direkte eller umiddelbar Fornemmelse af selve Centralorganets Funktioneren er udelukket, og følgelig maa Fornemmelsen af Anstrengelse være af perifer Oprindelse. I visse extreme Tilfælde har man ganske vist Fornemmelser af miniske Bevægelser: Brynene rynkes, Tænderne bides sammen osv., men disse bestemt lokaliserede Fornemmelser kan ikke ret vel — især da de langtfra altid forekommer — forklare den ganske difuse Fornemmelse af Anstrengelse, hvorefter vi med saa stor Sikkerhed bedømmer de forskellige Arbejders Vanskelighed. For denne Fornemmelse har vi nu det fornødne perifere Grundlag i de paaviste Spændingstilstande i Hovedets, Hændernes, Armenes og muligvis andre Legemsdeles Muskler.

Herimod lader sig rigtignok rejse den Indvending, at Forandringer i Muskeltonus ingenlunde altid som psykisk Resultat giver en Fornemmelse af Anstrengelse. Naar man „i Spænding“ venter noget, hvad enten dette er en virkelig eller blot en fiktiv Tildragelse som f. Ex. ved Læsningen af en „spændende“ Roman, er der sandsynligvis Muskelspændinger medvirkende, men de fornemmes blot ikke som Anstrengelse. Vort Kendskab til de rent faktiske Forhold paa dette Omraade er imidlertid saa ringe, at jeg ansaa det for heldigst at gøre Sagen til Genstand for en særlig Undersøgelse. I det Øjemed blev der anstillet to Forsøg, L. 11 og L. 18. Under det førstnævnte læste Fp. en ham ubekendt Roman, der maatte antages at virke særlig spændende, hvilket Fp. bagefter indrømmede at have været Tilfældet. Ved dette Forsøg blev der paa den tidligere beskrevne Maade optaget en Kurve over Haandens Tonusforandringer; et Stykke af denne er gengivet i Fig. 2. Da Fp. havde læst 55 Sider i de 35 Min., Forsøget varede, var det let ved Hjælp af Kymograf-tromlens Tidsmærker at fastslaa, hvilket Stykke af Kurverne der svarede til hver enkelt Side i Bogen. Det fremgik deraf, at Kurvernes Stigninger og Maximumspunkter netop svarede til de mest spændende Steder i Fortællingen, medens et nyt Kapitel, der afbrød Fremstillingens Gang og derfor i Begyndelsen virkede meget mat, faldt sammen med en udpræget Sænkning i Spændingskurven. Disse Partier er gengivne i Fig. 2, hvorved Muskelspændingers Tilstedeværelse i Tilstande af „Spænding“ eller „Forventning“ vistnok maa siges at være hævet over enhver Tvivl. Stofskifteforholdene, som er fremstillede i Fig. 13, er ikke mindre interessante. For det første er alle Kurverne ualmindelig regelmæssige og viser i alle Perioder af „Arbejdet“ meget nær konstante Tilvækster. For det andet er baade Iloptagelse og Kulsyreudskillelse forbausende stor, nemlig meget nær den samme som ved Multiplikation af 2 3-cifrede Tal med Betragtning af Opgaven. Men medens den Art Regneopgaver er ret anstrengende Arbejde, er Romanlæsningen afgjort Adspredelse. Derfor kan Centralorganets Virksomhed i dette sidste Tilfælde heller ikke antages at have nogen større Andel i Stofskiftetilvæksten, som i alt væsentligt maa hidrøre fra Muskelspændinger. Derimod vil man vel nok være tilbøjelig til at anslaa Centralorganets Andel i Stofskiftetilvæksten noget højere, hvor det drejer sig om aande-

ligt Arbejde i egentlig Forstand. Da Tilvæksterne imidlertid for denne Fp. er meget nær de samme ved de to ganske forskellige sjælelige Virksomheder, fremgaar heraf det ret paradoxale Forhold, at man faar en Fornemmelse af Anstrengelse netop i det Tilfælde, hvor Muskelspændingerne spiller den mindste Rolle. Modsigelsen lader sig dog uden Vanskelighed hæve ved den Antagelse, at Tonusforandringerne under spændt Forventning udbreder sig til mange Muskler, men kun faar ringe Intensitet, medens de ved egentligt Arbejde utvivlsomt lokaliseres fortrinsvis i Ansigtets Muskler, hvor de naar en ikke ringe Styrke.

Ved det andet Forsøg, L. 18, læste Fp. den samme Bog som i L. 11. Nogen Spændingskurve blev ikke optaget, thi da Bogen nu var ham fuldstændig bekendt,

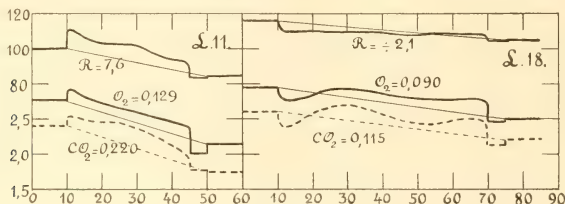


Fig. 13.

maatte „Spænding“ anses for udelukket. Stofskifteforholdene tyder ogsaa tildels herpaa, idet Tilvæksterne til at begynde med er negative, men de gaar rigtignok hurtigt over til at blive positive, saa at de gennemsnitlig naar en ikke ringe positiv Værdi (Fig. 13). Sammenlignes L. 18 med L. 17 (Fig. 9), hvor ligeledes en bekendt men ikke spændende Fortælling blev læst, saa ses Kurverne i den Henseende at stemme overens, at Stofskiftetilvæksterne gaar fra negative til stadig voksende positive Værdier, og netop dette har vi fundet at være karakteristisk for en sjælelig Virksomhed, der indledes med en Slappelse af Opmærksomheden. Forskellen mellem L. 18 og L. 17 beror da rimeligvis derpaa, at selve Forestillingsindholdet, skønt det var bekendt, dog ifølge sin Beskaffenhed har medført nogen Spænding i L. 18, medens dette var udelukket ved L. 17, hvor Fortællingen var af mere idyllisk Art. Men i L. 18 har Spændingen dog, hvad Stofskiftetilvæksterne viser, været betydelig ringere end i L. 11, hvor Fortællingen virkede med hele Nyhedens Styrke. Tænker man sig fremdeles, at Fp. havde været Øjenvidne til de rystende Tildragelser, som han her blot har læst om, saa vilde han ganske sikkert have oplevet en Spænding af langt mere intens Karakter, end Læsningen kan give Anledning til. Disse Forsøg synes saaledes at give et ikke uvæsentligt Bidrag til Belysning af Forholdet mellem egentlige (autopatiske) Affekter og æstetiske Emotioner. Erfaringen lærer, at enhver Affekt kan optræde som æstetisk Emotion uden derved at miste sit ejendommelige Artspræg, idet alle de karakteristiske Affektytringer fremtræder med betydelig Styrke. Alligevel er der mellem den virkelige Oplevelse og dens æstetiske Genpart en aldeles

udpræget Forskel, som man psykologisk vel nærmest vil udtrykke saaledes, at Individet „gribes dybere og inderligere“ af den virkelige Tildragelse end af den blotte Skildring. Det fysiologiske Grundlag for denne Forskel synes vi nu at have fundet i de ledsagende Muskelspændinger, der aabenbart er af langt mere effektiv Karakter i Affekten end i den æstetiske Emotion, hvor de, hvad Stofskiftemaalingerne viser, ogsaa bliver svagere, saasnart Skildringen ikke mere har Nyhedens Interesse<sup>1)</sup>.

Ved Affekter og Emotioner maa Tonusforandringerne udstrække sig til Størstedelen af Organismen, fordi det der drejer sig om Bevægelser eller i det mindste Bevægelsestendenser, der kræver Koordination af mangfoldige Muskler. Derfor vil ogsaa selv smaa Forandringer kunne medføre en betydelig Stofskiftetilvækst, uden at Muskelspændingen paa noget Punkt behøver at naa en saadan Intensitet, at den bliver Individet bevidst. Ved intellektuel Virksomhed, ved Opmærksomhedsanspændelser, har vi derimod ingen Grund til at antage Tonusforandringer andetsteds end i Hovedets Muskler, hvor de direkte kan fornemmes i mange Tilfælde, og i Hænderne og muligvis Armene, hvor de er paaviste ved de omtalte Forsøg. I disse Tilfælde vil Tonusforandringer kun kunne medføre større Stofskiftændringer, naar de naar en saadan Styrke, at de fornemmes som Anstrengelse. Tonusforandringernes psykiske Virkning saavel som deres Indflydelse paa Stofskiftet ved Opmærksomhedsanspændelse, Affekter og Emotioner synes saaledes uden Vanskelighed at kunne forklares ved Muskelspændingernes forskellige Extensitet og Intensitet i disse forskellige Tilfælde. En mere indgaaende Udredning af disse Forhold maa være fremtidige Undersøgelser forbeholdt; som foreløbigt, sandsynligt Resultat af de her omtalte Forsøg kan fastslaaes:

*De Opmærksomhedsanspændelsen ledsagende Forandringer i Muskeltonus indskrænker sig under almindelige Forhold sandsynligvis til Hovedets. Armenes og Hændernes Muskler, hvor deres Styrke vokser med Koncentrationen.*

*Affekter og Emotioner medfører ogsaa Muskelspændinger, der kan optræde i alle Kroppens Muskler, men iøvrigt i Extensitet og Intensitet varierer med Arten af den paagældende Sindsbevægelse. Forskellen mellem en Affekt og den tilsvarende æstetiske Emotion synes især at bero paa den meget forskellige Styrke, hvormed Muskelspændingerne ytrer sig i de to Tilstande.*

Tilbage staar endnu at gøre Rede for Hvilestofskiftets Variationer. Til Grund for vore Beregninger af Stofskiftetilvæksterne under Arbejdet ligger den Betragtning, at der ogsaa under Arbejdet foregaar en med Tiden proportional Variation af Organismens Stofskifte mellem de to Grænser, der er angivne ved Hvilestofskiftet før og efter Arbejdet (S. 16). Under denne Forudsætning har vi for et givet Arbejde fundet saa nær som mulig konstante Stofskiftetilvækster i de enkelte Perioder, hvilket taler for Forudsætningens Berettigelse. Men naar Organismen arbejder, er Stofskiftet dog faktisk et andet end i Hvile, saa at det ikke er umiddelbart ind-

<sup>1)</sup> I „Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens“ 2. Ausg. Leipzig 1914, S. 315 har jeg allerede antydnet en saadan Forklaring som en ikke usandsynlig Hypotese, der finder Støtte i let tilgængelige Selviagttagelser.



lysende, hvorledes et jævnt varierende Hvilestofskifte kan foregaa ogsaa under Arbejdet. Sagen synes dog at være ret enkel, efter at vi nu har faaet Rede paa den store Indflydelse, som Muskeltonus har paa Stofskiftet.

Det er forlængst ved fysiologiske Forsøg fastslaaet, at Organismens forskellige Stillinger ved de dermed følgende Muskelspændinger medfører betydelige Forandringer i Stofskiftet. Dette er, naar Fp. staar oprejst, 30—40 % større, end naar han ligger ned, og i den liggende Stilling kan han yderligere nedsætte det henved 30 % ved vilkaarlig at slappe alle Muskler<sup>1)</sup>. I den ved vore Forsøg anvendte Stol sidder Fp. oprejst, støttet af Puder i Ryggen, men der maa blive en meget væsentlig Forskel paa Stofskiftet, alt eftersom Kroppen holdes oprejst ved Muskulaturens Tonus eller, ved fuldstændig Muskelslappelse, alene ved de støttende Puder. En saadan Forandring i Tonus foregaa ganske uvilkaarlig under Arbejdet; især efter længere anstrengende Arbejde mærker Fp. let, hvor meget tungere han paa Grund af Muskelslapheden hviler mod Rygstødet. Naar man i Fig. 12 ser, hvor jævnt og regelmæssigt en Tonusforandring i Haanden kan forløbe, er der ingen Grund til at betvivle, at en Slappelse af Kroppens Muskler kan skride fremad med lignende Regelmæssighed. Det faktiske Stofskifte under Arbejdet maa nu være bestemt dels ved den forøgede Virksomhed i Nervesystem og visse Muskler, dels ved Kropmuskulaturens jævnt synkende Virksomhed. Den hele Sum maa da nødvendigvis aftage, naar den ene af Addenderne formindskes. Med Undtagelse af et Par ganske enkelte Tilfælde viser alle vore grafiske Fremstillinger, at Stofskiftet under Arbejdet virkelig synker, saa der er ingen Grund til at betvivle, at vi her har at gøre med en stadig virkende Aarsag. Dermed bliver ogsaa den Metode, der er anvendt til Beregning af Stofskiftetilvæksterne under Arbejdet, fuldt berettiget. Men herved er dog endnu nogle Punkter, som kræver en nærmere Udredning.

For det første viser et Blik paa de forskellige grafiske Fremstillinger af Stofskifteforandringerne, at Hvilestofskiftets Aftagen under Arbejdet er af meget variabel Størrelse. Selv for samme Fp. vil et Arbejde af given Art i en bestemt Tid ingenlunde altid medføre samme Sænkning. Nogen Lovmæssighed i disse Forhold er vanskelig at paavise. I Almindelighed vil man vel finde, at Niveauforskellen mellem de to Hvileperioder er desto større, jo vanskeligere og langvarigere Arbejdet er, men hvis Fp. maa „tage sig sammen“ enten paa Grund af ydre eller indre Forstyrrelser, eller blot fordi Arbejdet volder særlige Vanskeligheder, kan Hvilestofskiftets Sænkning derved modvirkes. Heri er for saa vidt intet mærkeligt, thi som ovenfor paavist har en saadan Tagen-sig-sammen en forhøjet Muskeltonus til Følge, og naar derved tillige Hvilestofskiftets Sænkning modvirkes, viser dette blot, at Tonusforhøjelsen udstrækker sig til selve Kropmuskulaturen. Nogen konstant Sænkning af Hvilestofskiftet under Arbejdet kan følgelig ikke ventes. Derimod ligger det nær at antage, at Niveauforskellen mellem Hvilestofskiftet før og efter Arbejdet vil naa sin største Værdi, hvis der slet ingen Opmærksomhedsanspændelse finder Sted, altsaa

<sup>1)</sup> NAGEL: Handbuch der Physiologie, Bd. 1, Braunsch. 1909. S. 168 og 458.



med andre Ord, hvis Fp. sidder fuldstændig ubeskæftiget. BECHER og OLSEN fandt imidlertid under disse Forhold kun en Formindskelse af Kulsyreudskillelsen paa 10<sup>0</sup> „, medens den i flere af de her foreliggende Forsøg gaar op til over 30<sup>0</sup> „. Dette kunde naturligvis hidrøre fra, at Fp. ved BECHER og OLSEN's Forsøg ikke havde været helt rolig, og for at undersøge dette nærmere anstillede jeg de to Forsøg L. 19 og L. 20 (Tab. 5), som begge varede 40 Min. Begge Forsøg viser overensstemmende, at der i Løbet af 20 Min. indtræder en Sænkning saavel af Kulsyreudskillelsen som Iltoptagelsen paa henvend 10<sup>0</sup> „, men derpaa vokser Stofskiftet igen til den oprindelige Størrelse for atter at aftage i de næste 10 Min. Der er altsaa slet ikke Tale om en fremadskridende Sænkning, men kun om en Bølgen op og ned af Stofskiftet. Den store Forskel paa Stofskiftets absolute Størrelse i de to Forsøg hidrører vistnok udelukkende derfra, at det ene, L. 19, blev anstillet 3 Timer, det andet, L. 20, derimod kun 1 Time efter sidste Maaltid. Ved fysiologiske Forsøg er det godtgjort, at Stofskiftet vokser ved Optagelsen af Føde, men naar denne fortrinsvis bestaar af Kulhydrater, hvilket var Tilfældet ved de her omtalte Forsøg, synker Stofskiftet allerede efter 3 Timers Forløb til sin oprindelige Værdi<sup>1)</sup>.

Efter disse Forsøg, som i det væsentlige stemmer med BECHER og OLSEN's, anser jeg det for højest usandsynligt, at den blotte Hvile, uden vilkaarlig Formindskelse af Aandefang og Slappelse af Musklerne, skulde kunne frembringe nogen større Sænkning af Hvilestofskiftet. Den store Niveauforandring, som viser sig i flere af vore Forsøg, lader sig da næppe forklare paa anden Maade end som en Hæmning udløvet af Arbejdet paa de motoriske Centre, hvorved Muskulaturens latente Innervation nedsættes. Heri er intet mærkeligt, da motoriske Hæmninger, fremkaldte ved sjælelig Virksomhed, er velkendte fra psykologiske Forsøg<sup>2)</sup>.

For det andet er der som sagt nogle enkelte Tilfælde, hvor Stofskiftet ikke synker under Arbejdet, men er større i Hvileperioden efter end før dette. Forsøgene N. 11, P. 9 og L. 17 viser et saadant Forhold, og i de to førstnævnte er det ogsaa let at se, hvorfor dette er indtruffet. Naar Hvilestofskiftets normale Aftagen under Arbejdet skyldes en Slappelse af Kropmuskulaturen, maa en Stigning efter al Sandsynlighed hidrøre fra, at Fp. har „strammet sig op“; netop dette har fundet Sted i de to Tilfælde. I N. 11 har vi Fp.s eget Udsagn om, at han tog sig sammen, fordi han mente, at han ikke arbejdede tilstrækkelig energisk (S. 26, Fig. 6), og i Forsøget P. 9 (S. 23 og 34, Fig. 11) voldte Arbejdet Fp. særlige Vanskeligheder. Disse Forsøg viser altsaa ligefrem, at en ualmindelig stærk Anspændelse kan influere ogsaa paa Kropmuskulaturen og overkompensere dennes normale Slappelse under Arbejdet. Det tredje Tilfælde, L. 17, hører naturligere ind under den følgende Gruppe.

For det tredje er der alle de Forsøg, hvor Stofskiftetilvæksten er negativ: P. 10, L. 3, L. 6, L. 17. Som tidligere paavist er dette Resultat altid en Følge af en Opmærksomhedsslappelse, og for saa vidt er der intet mærkeligt deri: naar Anspæn-

<sup>1)</sup> TIGERSTEDT: Die Physiologie des Stoffwechsels, i Nagels Handbuch der Physiologie Bd. 1, S. 418 o. f.

<sup>2)</sup> LEHMANN: Grundzüge der Psychophysiologie, S. 498 o. f.

delse ledsages af Tonusforhøjelse og dermed forøget Stofskifte, maa Slappelse naturlig have den modsatte Virkning. Men det mærkelige er den Maade, hvorpaa Stofskiftet varierer. I alle Tilfælde med positive Tilvækster fører Beregningen til saa nær som mulig ligestore Tilvækster i de enkelte Arbejdsperioder, og det ligger da nær at vente noget tilsvarende for de negative Tilvækster. Fig. 7, 8 og 9 viser imidlertid det tidligere (S. 32) omtalte, lovmæssige Forløb, at Stofskiftet under Arbejdet begynder med negative og ender med positive Værdier; her fører vor Beregningsmetode altsaa langt fra til ligestore Tilvækster i de enkelte Perioder. Det samme gælder iøvrigt om Forsøget L. 18 (Fig. 13), hvor Resultatet vel var positivt, men begyndte med negative Værdier.

Til Forklaring af disse Ejendommeligheder har Fp. L givet følgende Oplysninger. Før Arbejdet sidder han oprejst, kun let støttet af Puderne, men saasnart det lette Arbejde eller Romanlæsningen begynder, lader han sig mere mageligt synke ned i Puderne; nogen yderligere Forandring af Stilling under Forsøget er han sig ikke bevidst. Der foregaar altsaa faktisk en tildels vilkaarlig Slappelse af Kropsmuskulaturen ved Arbejdets Begyndelse, og da denne naturligvis kan have meget større Indflydelse paa Stofskiftet end den forøgede Virksomhed, som Arbejdet medfører i andre Organer, bliver Tilvæksten straks negativ. Hvorfor Stofskiftet derpaa mere eller mindre hurtigt forøges, saa at Tilvæksterne bliver positive, kan man kun have Formodninger om. Det sandsynligste er vel, at Kropsmuskulaturens Slaphed ikke lader sig forene med den Anspændelse, som Arbejdet kræver, saa at der lidt efter lidt indtræder en mere normal Tonus. Forsøgene L. 9 (Fig. 10) og P. 15 (Fig. 11) har direkte vist, hvorledes en vilkaarlig Slappelse af alle Muskler før Arbejdet medfører en meget betydelig Forøgelse af Stofskiftet under dette, hvilket aabenbart tyder paa, at Arbejdet medfører Tonusforhøjelse i de vilkaarlig slappede Muskler. Denne Tonusforhøjelse vil ret naturligt skride desto hurtigere frem, jo mere Anspændelse Arbejdet kræver; derfor vokser Stofskiftet langsommere i L. 17 end i alle de andre Forsøg af denne Art. I første Hvileperiode efter Arbejdet i L. 17 er Stofskiftet lidt mindre end før Arbejdet, men stiger derpaa noget, saa at det i anden Hvileperiode bliver større end før Arbejdet; det er saaledes maaske blot rent tilsyneladende at der har fundet en Stigning af Hvilestofskiftet Sted. Lignende om end ikke saa store Stigninger i Hvileperioderne efter Arbejdet ses ret jævnlig, og der kan efter alt det foreliggende næppe være Tvivl om Aarsagen: en ganske ringe Forandring i Fp.s Holdning vil være tilstrækkelig til at frembringe denne Virkning. Det kan derfor ogsaa undertiden være tvivlsomt, om første Hvileperiode ikke giver et nøjagtigere Udtryk for Stofskiftet umiddelbart efter Arbejdet; som oftest bliver Forskellen dog ganske uvæsentlig, og kun i de enkelte, ovenfor omtalte Tilfælde, hvor anden Hvileperiode ligefrem fører til Absurditeter, er den første lagt til Grund for Beregningen.

Resultatet af Betragtningerne over Hvilestofskiftet bliver i Korthed dette:

*Stofskiftet i Hvileperioden efter Arbejdet er gennemgaaende lavere end i Hvileperioden før Arbejdet. En saadan Niveauforandring synes kun at indtræde under Arbejde; i fuldstændig Hvile viser Stofskiftet kun en ringe Bølgen op og ned.*

*Niveauforandringen beror efter al Sandsynlighed paa en gradvis indtrædende Slappelse i Kropmuskulaturens Tonus, fremkaldt ved Arbejdets d. v. s. de psykoфизиологische Processers hæmmende Indflydelse paa Muskulaturens latente Innervation.*

*Hvilestofskiftets Aftagen under Arbejdet vil modvirkes, naar ydre eller indre Forstyrrelser medfører en stærk Opmærksomhedsanspændelse, der altid har en betydelig Tonusforhøjelse til Følge. I slige Tilfælde kan Hvilestofskiftet efter Arbejdet være større end før dette.*

*Naar Arbejdet paa Grund af sin Lethed medfører en Opmærksomhedsslappelse, har denne en vilkaarlig Slappelse af Kropmuskulaturen til Følge, hvorfor Stofskiftetilvæksterne i Begyndelsen bliver negative. Den stærkt nedsatte Muskeltonus synes dog uforenelig med fortsat Virksomhed, og Stofskiftetilvæksterne bliver derfor før eller senere atter positive.*

Da de foreliggende Forsøg saaledes fører til det Resultat, at der maa tillægges Muskelspændingerne en afgørende Indflydelse paa Stofskiftet under Arbejdet, bliver det ret gaadefuldt, hvorfor BECHER og OLSEN nærmest kom til det modsatte Resultat<sup>1)</sup>. Ved Forsøg med vilkaarlig Tilvejebringelse af svage Muskelspændinger fandt de ganske vist nogen Forøgelse af Kulsyreudskillelsen, men den var ret ubetydelig i Sammenligning med de Kulsyremængder, der blev fundne ved de forskellige aandelige Arbejder. Disse var imidlertid gennemgaaende langt større end de, vi nu har fundet for de samme Arbejder udførte af de samme Fp. I Tab. 2 er givet en Oversigt over dette Forhold. For hver af de to Fp., L. og N., som har deltaget baade i de tidligere Forsøg (1911) og i de her foreliggende (1917) er opført de fundne Kulsyremængder i hver af de to Forsøgsgrupper; hvor der i hver af disse Grupper er anstillet flere end to Forsøg af samme Art, er kun den største og den mindste af de fundne Værdier anførte. Tabellen viser, at Forsøgene 1911 jævnlige har givet to til tre Gange saa store Kulsyremængder som Forsøgene 1917: dette gælder saaledes for Fp. N.s Udenadslæren af Ramser. Og Fp. L. har 1917 kun udskilt ca. 0,3 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> ved Multiplikation af trecifrede Tal, medens han i 1911 afgav 0,65 cm<sup>3</sup> ved den meget lettere Multiplikation af tocifrede Tal. I Forhold til disse store Kulsyremængder er de af BECHER og OLSEN fundne Værdier for svage Muskelspændinger maaske nok ret ubetydelige, medens de ingenlunde kan lades ude af Betragtning i Forhold til de nyere Maalingers Resultater.

De uforholdsmæssig store Kulsyremængder, som BECHER og OLSEN fandt, kan skyldes to forskellige Aarsager: dels Udluftning af Organismens Kulsyre, dels stærke Muskelspændinger. Hvad det første Moment angaar, fremhæver de nævnte Forf. selv, at der i første Arbejdsperiode utvivlsomt har fundet Kulsyreudluftning Sted, men næppe i nogen af de følgende. Dette stemmer ganske med de her foreliggende Resultater. Gennemgaar man Hovedtabellerne, vil man finde, at Respirationskvotienten, som netop angiver Forholdet mellem udskilt Kulsyre og optagen O<sub>2</sub>, viser en ganske ringe Stigning i første og anden Arbejdsperiode. Her udskilles altsaa for-

<sup>1)</sup> Anf. Skrift S. 64.

Tabel 2.

|    |      | Tælning, Regning  |                |                |                | Udenadslæren af Ramser |                |                |                |        |              |
|----|------|-------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------------|
|    |      | Optælning af e'er | Addition       | Multiplikation |                | 8 St.                  | 12 St.         | 16 St.         | 20 St.         | 24 St. | 32 St.       |
|    |      |                   |                | 2-cifr.        | 3-cifr.        |                        |                |                |                |        |              |
| L. | 1911 | 0,266<br>0,317    | 0,563<br>0,177 | 0,647          |                | 0,644<br>0,420         | 0,576<br>0,645 | 0,697<br>1,024 | 1,177<br>1,117 |        |              |
|    | 1917 |                   | 0,216          |                | 0,253<br>0,357 |                        |                |                |                |        |              |
| N. | 1911 |                   | 1,23           | 1,28           |                | 1,26<br>0,72           | 1,17<br>0,96   | 1,48<br>1,38   | 1,59<br>1,18   |        | 1,55<br>1,52 |
|    | 1917 | 0,150<br>0,266    | 0,257<br>0,903 |                |                | 0,461                  | 0,447          | 0,500          | 0,617          | 0,649  |              |

holdsviis lidt mere Kulsyre end i Hviletilstanden, men det er gennemgaaende ret ubetydeligt og finder ikke engang altid Sted. End ikke i de Forsøg, N. 11 og P. 16, hvor Kulsyremængderne nærmer sig til de af BECHER og OLSEN fundne, stiger Respirationskvotienten saa stærkt, at Udluftning af Kulsyre kan have nogen større Indflydelse paa Resultatet. Som almindeligt Resultat kan man derfor sikkert fastslaa:

*Kulsyretilbæksterne ved aandeligt Arbejde skyldes kun i ringe Grad en Kulsyreudluftning, om denne end kan have en væsentlig Andel i, at de fundne Kulsyreværdier er noget mere variable end de tilsvarende Iltværdier.*

Til Forklaring af de store Kulsyretal ved BECHER og OLSEN's Maalinger bliver saaledes kun den Mulighed tilbage, at Fp. har været for ivrige, anspændt sig for stærkt for at naa de bedst mulige Resultater. Det er ogsaa højt sandsynligt. Man anede dengang ikke, om der kunde komme noget ud af Forsøgene, og der har følgelig hos de interesserede Fp. været en ikke ringe Spænding. Den har ganske manglet ved de her foreliggende Forsøg, der kun havde til Formaal at finde nøjagtige Tal for de paa Forhaand kendte Fænomener; derfor er vore Værdier meget lavere. Det er saaledes Skæbnens Ironi, at BECHER og OLSEN ved sine Forsøg ikke kunde paaavise Muskelspændingernes Indflydelse, fordi den var altfor stor.

### Stoiskiftets Afhængighed af Trætheden.

Træthed er den Forandring, som selve Arbejdet medfører i et arbejdende Organ; den ytrer sig som oftest saavel fysisk ved Trætheds effekten, en Nedsættelse af Arbejdsydelsen, som psykisk ved Træthedsfølelsen. Naar Talen er om aandeligt Arbejde, maa der skelnes skarpt mellem disse tre Momenter: Træthed som selve Organets fysiologiske Forandring og dennes ydre og indre Virkning. Ved Muskelarbejde synes de tre Momenter altid at være nøje forbundne; med Trætheden følger altid en Trætheds effekt, en efter Omstændighederne større eller mindre Formindskelse af



Arbejdsydelsen og en tilsvarende Træthedsfølelse. Ved aandeligt Arbejde er Forbindelsen ikke saa fast. Det forekommer, at der finder en Nedsættelse af Arbejdsydelsen Sted, uden at Individet føler Træthed, og der kan være en stærk Følelse af Træthed, uden at Arbejdet forringes i Kvantitet eller Kvalitet. Dette paradoxale Forhold vil ikke kunne forklares, før man har faaet et nærmere Kendskab til selve Trætheden, den i Centralnervesystemet under Arbejdet indtrædende Forandring, men herom véd vi foreløbig aldeles intet. Derimod er Træthedseffekten ved aandeligt Arbejde undersøgt ret indgaaende, især af THORNDIKE og hans Elever<sup>1)</sup>. Inden vi gaar over til nærmere Betragtning af disse Forhold, vil det være praktisk til Sammenligning at kaste et Blik paa Muskelarbejdet, hvor vi dog har noget Kendskab til Træthedens Natur.

Ved Muskelarbejde forbruges ofte betydelige Energimængder. Da en Muskels Nyttevirkning selv under gunstige Omstændigheder næppe overskrider 33 %, maa der altsaa af Muskels kemiske Energi transformeres en Mængde ækvivalent med mindst det tredobbelte af det præsterede mekaniske Arbejde. En nogenlunde kraftig Haands Muskler kan let pr. Min. udføre et Arbejde paa 20 kg-m; selv saa smaa Muskelgrupper som de, hvorom her er Tale, maa altsaa ligge inde med et stort Lager af kemisk Energi. Dette maatte imidlertid snart blive opbrugt, hvis der ikke under den fortsatte Dissimilation tillige fandt en Assimilation Sted. Genopbygningen tager dog forholdsvis lang Tid; efter en maximal Kontraktion af Haandens og Fingrenes Muskler vil disse først efter 10 Sek. Forløb igen kunne præstere et Arbejde af samme Størrelse. Hvis der altsaa udføres maximale Kontraktioner i et hurtigere Tempo, maa Arbejdsydelsen stadig synke, indtil den har naaet en saadan Størrelse, at den forbrugte Energimængde netop kan erstattes i Tidsrummet mellem to Kontraktioner; fra dette Moment maa Arbejdsydelsen blive tilnærmelsesvis konstant. Erfaringen bekræfter fuldstændig Rigtigheden af disse teoretiske Betragtninger.

Hvad for det første Træthedseffekten angaar, er det forlængst ved ergografiske Maalinger fastslaaet, at Arbejdsydelsen formindskes desto hurtigere og stærkere, jo hurtigere Arbejdstempoet er<sup>2)</sup>. Før eller senere naaer den en tilnærmelsesvis konstant Værdi, som derefter kan vedligeholdes i meget lang Tid. Dette ses eksempelvis af Fig. 14, hvor Kurven A angiver det pr. Sek. udførte Arbejde, udtrykt i kg-cm, der er præsteret ved maximale Kontraktioner af Haandens og Fingrenes Muskler i Tempoet 30 pr. Min. Arbejdsmængden aftager brat i de første 3 Min. og svinger derefter op og ned.

Hvad nærmest selve Trætheden angaar, viser de samtidige Stofskiftemaalinger tydelig, hvorledes det forholder sig med den. Hverken Iloptagelse eller Kulsyreudskillelse naaer straks ved Arbejdets Begyndelse, men først efter nogle Min. Forløb, sit Maximum (Fig. 14); det samme gælder iøvrigt ogsaa Aandefanget (se Tab 5), saa at Aandedrættet aabenbart forøges, efterhaanden som de dannede Stofskiftepro-

<sup>1)</sup> THORNDIKE: Educational psychology, Vol. 3. Mental work and fatigue. New York 1914.

<sup>2)</sup> LEHMANN: Grundzüge der Psychophysiologie. Leipzig, 1912. S. 74.



duktur nødvendiggor det. At Organismen ikke straks har kunnet skaffe sig af med disse, fremgaar deraf, at Kulsyreudskillelsen paa et noget senere Tidspunkt bliver større end Iltoptagelsen. Ved denne Udluftning af den oplagrede Kulsyre vokser Muskulens Arbejdsevne noget i Overensstemmelse med den fra fysiologiske Undersøgelser bekendte Erfaring, at et Muskelpreparat kan præstere mere Arbejde, naar Stofskifteprodukterne fjernes ved Udvaskning med en Kogsaltopløsning. Efter Udluftningen svinger Iltoptagelsen med Arbejdet; naar en stærkere Anstrengelse fra Fp.s Side bringer dette til at vokse, stiger ogsaa Iltoptagelsen, for atter at synke, naar Arbejdet aftager. Saasnaar Arbejdet hører op, synker saavel Iltoptagelse som



Fig. 14.

maa Arbejdsydelsen nødvendigvis synke, indtil den ved den enkelte Kontraktion forbrugte Energi er bleven saa lille, at det livligere Blodomløb og Aandedræt netop er istand til at dække Forbruget. Fra dette Moment holder Assimilation og Dissimilation i det arbejdende System hinanden i Ligevægt, og Arbejdet vilde blive konstant, saafremt de uundgaelige, psykisk betingede Svingninger i den motoriske Innervation ikke fremkaldte tilsvarende Variationer i Arbejdet og dermed i Stofskiftet.

Hvorvidt den Træthed, der er en Følge af uafbrudt sjælelig Virksomhed af bestemt Art, beror paa det samme Forhold som Muskeltrætheden, vides endnu aldeles ikke. De Stofskifteundersøgelser, som vi i det følgende skal betragte, giver saa vidt mig bekendt det første Bidrag til Besvarelsen af dette Spørgsmaal. Men hvis „aandelig Træthed“ ligesom den legemlige skyldes Forbrug af kemisk Energi i det arbejdende Organ, maa der dog i een Henseende blive en væsentlig Forskel paa de to Fænomener. Thi de Energimængder, som det drejer sig om ved sjælelig Virksomhed, er i Sammenligning med Energiforbruget ved Muskelarbejde overordentlig smaa. Ved det i Fig. 14 fremstillede Forsøg, hvor kun en enkelt Haands Muskler

Kulsyreudskillelse brat, dog ikke til samme Niveau som i Hviletilstanden før Arbejdet; først efter ca. 15 Min. Forløb er dette naaet, da den stærke Forhøjelse af alle Musklers Tonus under Arbejdet kun langsomt fortager sig. Stofskiftemaalningen giver saaledes en klar Indsigt i Muskeltræthedens Natur. Da Musklernes ved Arbejdets Begyndelse transformerede Energi ikke straks kan erstattes, og Stofskifteprodukterne heller ikke fjernes fuldstændig,

arbejdede, er Iltoptagelsen under Arbejdet 73 "o større end i Hviletilstanden. Derimod er Iltoptagelsen i „Normalforsøgene“ med aandeligt Arbejde højst 15 "o større end i Hviletilstanden, og af denne Iltmængde medgaar endda en vis Del til Aandedrætsmusklernes forøgede Arbejde og de stedfindende Muskelspændinger. Centralorganets Andel bliver saaledes temmelig ringe. I de anormale Forsøg kan Ilforbruget ganske vist blive betydelig større, men Overskudet maa her, som tidligere paavist, hovedsagelig skrives paa Muskelspændingernes Regning. Størst er Iltoptagelsen i Forsøget P. 16, som skal omtales i det Følgende; her er den 43 "o større under Arbejdet end i Hvile, men det kan med Sikkerhed godtgøres, at mindst de 37 "o skyldes Kropmuskulaturens forhøjede Tonus. Det er saaledes kun smaa Energi-mængder, der transformeres i Nervesystemet. Hertil kommer yderligere, at Hjernebarken er rigeligere forsynet med Blodkar end noget andet Organ, hvormed Muligheden er givet for en forholdsvis hurtig Genopbygning af de dekomponerede Stoffer. Gaar vi nu ud fra, at Træthed ved Hjernevirksomhed ligesom ved Muskelarbejde beror paa, at der i Begyndelsen forbruges mere, end der kan erstattes, saa vil den deraf følgende Formindskelse af Arbejdsydelsen kun blive ringe. Thi da Forbruget kun er lille, og Erstatningen forholdsvis stor, maa det Punkt hurtigt naas, hvor Assimilationen holder Ligevægt mod Dissimilationen, og Arbejdsydelsen følgelig er konstant. Kun hvis Arbejdet er meget anstrengende, ligger saa at sige paa Grænsen af, hvad Individet kan præstere, vil Arbejdsydelsen kunne aftage i længere Tid, men før eller senere maa den blive konstant.

Erfaringen bekræfter fuldstændig Rigtigheden af disse Betragtninger. Af særlig anstrengende Forsøg, fortsatte tilstrækkelig længe til at føre til konstante Arbejds-mængder, foreligger ganske vist kun et eneste, men sammenholdes det med Udfaldet af mindre anstrengende Forsøg, kan Resultatet ikke være tvivlsomt. Forsøget er udført af Miss ARAI paa Foranledning af THORNDIKE<sup>1)</sup>. Hun løste i 4 paa hinanden følgende Dage daglig 68 Opgaver i Multiplikation af to firecifrede Tal, som hun lærte udenad; kun Resultaterne, men ingen Mellemregninger noteredes. Arbejdet blev fortsat uden Ophold til Indtagelse af Føde osv. og krævede omtrent 16 Timer daglig. Resultatet er angivet i Tab. 3. De 68 Opgaver er delt i 17 Grupper à 4 Opgaver, og for hver Gruppe er angivet den Tid, som Arbejdet har krævet; det anførte Antal Minuter er Middeltallet af de fire Dages Arbejde. Det ses, at Tiden, om end med talrige Svingninger, stadig vokser. Et bedre Overblik over Træthedseffekten faar man, naar man beregner, hvormange Opgaver der er løste i hver af de 10 Timer. Dette kan gøres med tilstrækkelig Nøjagtighed ved følgende Betragtning. De første 12 Opgaver har taget ialt 67,3 Min. I de sidste 7,3 Min. maa der af Gruppe 3 være løst 1,2 Opgaver, følgelig er der i første Time løst  $12 - 1,2 = 10,8$  Opgaver. Gennemføres Beregningerne paa denne Maade, finder man det i Tab. 3 for hver af de 10 Timer anførte Antal Opgaver. Arbejdsydelsen ses her at synke indtil den 5. Time, hvorefter den, bortset fra en enkelt Svingning, er tilnærmelsesvis

<sup>1)</sup> Anf. Skrift S. 14 o. f.

Tab. 3.

ARAI, 1912. Multiplikation af 2 4-cifrede Tal.

| Gruppe..... | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Min. ....   | 20,0 | 23,9 | 23,4 | 24,6 | 26,8 | 29,4 | 34,0 | 29,4 | 30,9 | 40,0 | 42,5 | 44,2 | 41,4 | 36,2 | 36,6 | 46,7 | 47,1 |
| Time .....  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |      |      |      |      |      |      |      |
| Antal.....  | 10,8 | 9,4  | 7,6  | 8,0  | 5,9  | 5,5  | 5,4  | 7,0  | 5,3  | 5,0  |      |      |      |      |      |      |      |

konstant. Dette Forsøg stemmer altsaa ganske med de ergografiske Maalinger af Muskelarbejdet.

For lette aandelige Arbejder, Addition, Multiplikation af tocifrede Tal o. l., finder THORNDIKE enten, som det var at vente, en lille Formindskelse af Arbejdsmængden straks i Begyndelsen eller ogsaa slet ingen selv efter flere Timers uafbrudt Arbejde. En nærmere Diskussion af hans Resultater kan naturligvis ikke føre til noget, da vi ikke har andet end de nøgne Kendsgeninger at holde os til. Kun gennem samtidige Stofskifteundersøgelser, som THORNDIKE ikke har udført, kan man faa Indblik i det arbejdende Organs Forhold, og jeg skal derfor indskrænke mig til at behandle mine egne Forsøg.

Med Fp. N. er udført syv Forsøg med fortløbende Addition. Af disse kan det ene, N. 11, ikke komme i Betragtning, da Fp., som omtalt S. 26, forholdt sig anderledes i Slutningen end i Begyndelsen af Forsøget. De øvrige seks viser for store Variationer i det udførte Antal Additioner til, at en Beregning af Middeltal for de enkelte Arbejdsperioder kan give et brugbart Resultat. Men sætter man Antallet af Additioner i første Periode for hvert Forsøg f. Eks. = 100 og beregner Antallet af Additioner i de andre Perioder i Forhold dertil, saa kan man tage Middeltallet af de saaledes fundne Forholdstal og derved faa Overblik over Træthedseffekten. Herved er dog at bemærke, at første Periode kun varede 5 Min., hver af de andre derimod 10 Min., hvorfor disse er delt i to Perioder hver paa 5 Min., for hvilke der er opført samme Forholdstal. Paa samme Maade kan ogsaa de fundne Kulsyre- og Hltilvækster behandles; for disse er Værdien i første Periode vilkaarlig sat = 1,00. De beregnede Forholdstal er sammenstillede i Tab. 4. Det ses, at Arbejdsmængden, Antallet af Additioner, synker straks i anden Periode og derefter er tilnærmelsesvis konstant. Kulsyretilvæksten viser en ret stærk og stadig Aftagen, medens Hltoptagelsen vokser noget i sidste Periode. Betragtes Hltoptagelsen som det paalideligste Udtryk for det arbejdende Organs Virksomhed, saa viser disse Forsøg nærmest, at Stofskiftet aftager samtidig med Arbejdsmængden og derefter bliver tilnærmelsesvis konstant ligesom denne. Det skal endnu blot bemærkes, at Fp. N., der var vant til anstrengende aandeligt Arbejde, udtrykkelig har udtalt, at der ikke var nogen Træthedsfølelse ved disse kortvarige Arbejder.

To Forsøg med ganske afvigende Resultat er anført af BECHER og OLSEN (anf. Skrift Tab. XXVIII). De blev anstillede med Fp. L.; Arbejdet var fortløbende Addition. Varigheden af hvert Forsøg 50 Min., og Fp. angav en tydelig Træthedsfølelse

Tab. 4.

|                       | N. 1917. Additioner, 5-Min. Perioder |        |       |        | L. 1912. Additioner, 10-Min. Perioder |       |       |       |       |
|-----------------------|--------------------------------------|--------|-------|--------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Periode.....          | I                                    | II—III | IV—V  | VI—VII | I                                     | II    | III   | IV    | V     |
| Antal.....            | 100                                  | 92,6   | 94,9  | 90,9   | 100                                   | 92,5  | 92,1  | 94,2  | 93,5  |
| CO <sub>2</sub> ..... | 1,00                                 | 0,849  | 0,666 | 0,619  | 1,00                                  | 0,534 | 0,924 | 1,233 | 1,761 |
| O <sub>2</sub> .....  | 1,00                                 | 0,961  | 0,707 | 0,915  |                                       |       |       |       |       |

ved Slutningen af Forsøgene. Disse er beregnede paa samme Maade som de omtalte Forsøg med Fp. N. Forholdstallene er givne i den anden Halvdel af Tab. 4, men da der ingen Ilbestemmelser foreligger, maa vi her holde os til Kulsyreværdierne. Arbejdsmængden viser ganske samme Fald straks i Begyndelsen som for Fp. N., og derefter bliver den konstant, dog med en lille Stigning paa Slutningen. Kulsyreudskillelsen viser først et stærkt Fald, men derefter en jævn og meget betydelig Stigning. Ved disse Forsøg er der altsaa, i Modsætning til de foregaaende, ved Slutningen nogen Træthedsfølelse, men desuagtet snarest en Stigning i Arbejdsmængden og en meget betydelig Forøgelse af Stofskiftet.

Af de her foreliggende Forsøg L. 10, L. 12 og L. 13 fremgaar det samme Resultat. I alle de nævnte Forsøg var Arbejdet Multiplikation af trecifrede Tal; i det førstnævnte blev Opgaverne lærte udenad, i de sidste havde Fp. dem stadig for Øje. Af Tab. 5 fremgaar, at der i disse Forsøg, med Undtagelse af L. 13, næppe er nogen paaviselig Formindskelse af Arbejdsmængden, skønt L. 10 havde en Varighed af 45 Min., L. 12 og L. 13 endog 75 Min. Dette skyldes imidlertid efter al Sandsynlighed den mindre nøjagtige Maade, paa hvilken Arbejdsmængden blev bestemt. Ved hver Periodes Slutning gav Forsøgslederen et aftalt Signal, og Fp. satte da en Streg ved de Tal i Opgaven, han netop var beskæftiget med. Deraf kan ses, om Fp. befandt sig ved Begyndelsen eller i Slutningen af Opgaven, men en Fejl paa henvend  $\frac{1}{2}$  Opgave indløber let ved denne Beregning, og naar en saadan Fejl forekommer saavel ved Periodens Begyndelse som ved dens Slutning, kan den mulige Variation i Arbejdsmængden meget vel falde under Fejlgrensen. Kun i Forsøget L. 13 er Differenserne saa store, at en Formindskelse af Arbejdsmængden ved Midten og en Stigning ved Forsøgets Slutning er utvivlsom. Træthedsfølelsen var derimod stærk ved Slutningen af alle tre Forsøg, og her viser Stofskiftet ogsaa en meget betydelig Stigning.

I Forsøget L. 10 (Fig. 5) var Iltoptagelsen i de første 35 Min. gennemsnitlig  $0,384 \text{ cm}^3 \text{ s.}$ , i de sidste 10 Min. derimod  $0,63 \text{ cm}^3 \text{ s.}$ , altsaa  $66\%$  større. For nu at prøve, hvorledes Forholdet vilde stille sig ved Arbejde af længere Varighed, udførte jeg de to Forsøg L. 12 og L. 13, hvis Resultater er fremstillede i Fig. 15. Arbejdet var her ligeledes Multiplikation af trecifrede Tal, men Fp. havde stadig Opgaven for Øje, i L. 12 forløber Stofskiftet overordentlig regelmæssigt, men viser en betydelig Stigning til Slutningen, hvor Trætheden var kendelig. Gennemsnitlig var Iltilvæksten i de første 60 Min.  $0,140 \text{ cm}^3 \text{ s.}$ , i de sidste 15 Min.  $0,29 \text{ cm}^3 \text{ s.}$ , altsaa er her



en Stigning paa 107 %. Ved Forsøget L. 13 sad Fp. paa en almindelig Stol, ret op og ned, og ikke i den sædvanlige magelige Forsøgsstol. Hensigten hermed var at prøve, hvorledes Stofskiftet vilde stille sig, naar det anstrengende aandelige Arbejde skulde udføres under saadanne ydre Betingelser, som i Almindelighed er givne i et Kontor e. l., hvor man ikke efter Forgødtbefindende kan gøre sig det bekvemt. Kurverne

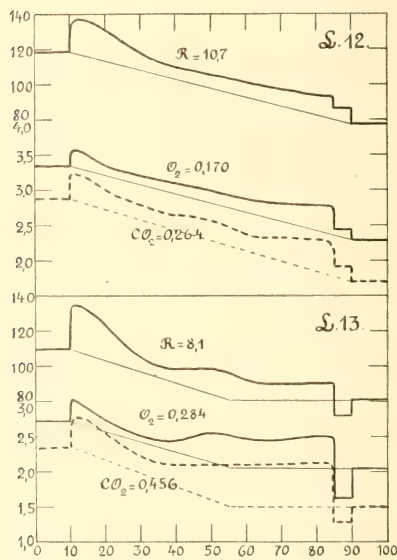


Fig. 15.

(Fig. 15) viser et ejendommeligt Forløb, idet de først synker brat og derefter bliver omtrent vandrette. Betydningen heraf synes ikke at kunne være tvivlsom. Vi saa ovenfor (S. 40), at den almindelige Aftagen af Stofskiftet under Arbejdet især hidrører fra Slappelse af Kropsmuskulaturens Tonus. L. 12 (Fig. 15) viser, at denne Slappelse kan blive meget stor, naar Legemet er godt støttet i en magelig Stol. Mangler en saadan Understøtning derimod, som Tilfældet var i L. 13, saa kan Legemets Sammensynken kun skride frem til et vist Punkt; Hovedet og Kroppen maa i det mindste holdes oprejste. Dette sker naturligvis uvilkaarligt — Fp. har andet at tænke paa — men Hvilestofskiftet maa altsaa fra dette Øjeblik blive konstant. Derfor er Stofskiftetilvæksterne her beregnede paa den Maade, at Hvilestofskiftet er tænkt aftagende i de første 45 Min. under Arbejdet og derefter konstant. Herved er Principet om saa vidt mulig ligestore Stofskiftetilvækster for konstant Arbejdet sket Fyldest, men desuagtet viser Stof-

skiftet, som det umiddelbart ses af Figuren, en betydelig Stigning paa Slutningen. Hftoptagelsen er i de første 45 Min. gennemsnitlig  $0,193 \text{ cm}^3/\text{s}$ , i de sidste 30 Min. derimod  $0,42 \text{ cm}^3/\text{s}$ , hvilket giver en Stigning paa 121 %.

Som Garanti for, at det her paaviste Forhold ikke er en ren individuel Ejendommelighed, blev der anstillet et Par tilsvarende Forsøg, P. 16 og P. 17, med Fp. P. Det sidstnævnte var i alle Henseender ordnet som L. 12; Fp. sad i den sædvanlige Forsøgsstol, og Arbejdet var Multiplikation af trecifrede Tal med Opgaven for Øje. Den Art Regnearbejde havde Fp. P. aldrig givet sig af med; han havde kun haft ialt henvend en Times Øvelse deri for dog at være klar over, hvorledes han vilde løse Opgaverne. Arbejdet blev valgt netop paa Grund af Fp.s Mangel paa Øvelse, da man under disse Omstændigheder kunde gøre Regning paa at faa tydeligere Ud-



slag af Træthed. Af Hensyn hertil blev ogsaa en nøjagtigere Metode til Maaling af Arbejdsmængden end den ovenfor omtalte anvendt, idet den Tid maalttes, som medgik til Løsning af ethvert Sæt paa 4 Opgaver. Heraf kan saa let beregnes, hvor mange Opgaver Fp. har løst i enhver af de 5 Arbejdsperioder à 15 Min. Disse Tal er opførte i Tab. 7; iøvrigt er Resultaterne fremstillede i Fig. 16. Arbejdskurven A

viser et mærkværdig regelmæssigt Fald; kun i den sidste Periode, hvor Fp. tog sig sammen, er en ringe Stigning. Stofskiftets Forløb viser ikke ringe Lighed med L. 13, dog er Forøgelsen i Slutningen langt betydeligere. Hvorledes Stofskiftetilvæksterne under Arbejdet egentlig skal beregnes i dette Tilfælde, er ikke let at afgøre; kun saa meget synes klart, at Hvilestofskiftet synker brat ligesom i L. 13 og derefter holder sig konstant. Ud fra Principet om saa vidt muligt konstante Tilvækster, maa disses Størrelse beregnes fra de i Figuren indtegnede rette Linier som Niveau-linier. Naar dette gøres, finder man Ilt-optagelsen i de første 60 Min.  $0,258 \text{ cm}^3/\text{s}$ , i de sidste 15 Min.  $0,66 \text{ cm}^3/\text{s}$ , hvilket giver en Tilvækst paa 160 %. Det kan naturligvis være Tvivl underkastet, om denne Beregningsmaade er den rigtige, og jeg har derfor heller ikke opført disse Tal i Tab. 1. Men hvilken Beregningsmaade man end vil foretrække, kan dog det Faktum, som ses umiddelbart af Figuren, vanskelig tilslores: at Fp.s Anstrengelse for at forøge Arbejdsmængden ved Forsøgets Slutning medfører en ganske overvældende Forøgelse af Stofskiftet. Netop dette drejede det sig om at faa Rede paa.

Forsøget P. 16 har ført til et ganske andet Resultat. Arbejdet var her fortløbende Addition; Fp. sad paa en almindelig Stol med Regneheftet foran sig paa et lille Bord. Arbejdsmængden blev maalt for hver 5 Min.: Kurven A er ret uregelmæssig, synker noget i 3. og 4. Periode, men stiger tilsidst til Begyndelsespræstationens Højde. Nogen Træthedseffekt er saaledes næppe paaviselig, hvilket hos den meget øvede Fp. heller ikke var at vente. Stofskiftet vokser ud over alle rimelige Grænser; medens Fp. ellers for den Art Arbejde gennemsnitlig har en Tilvækst paa

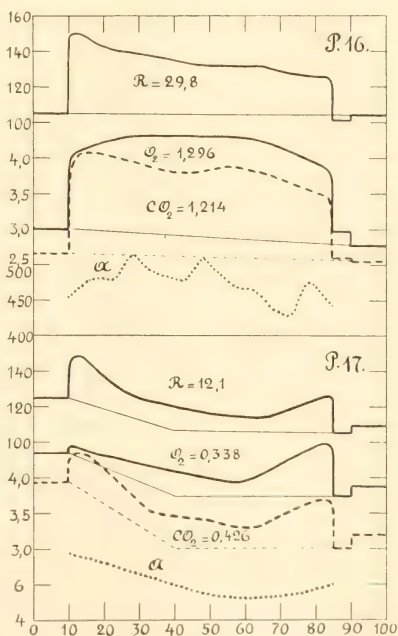


Fig. 16.

0,253 cm<sup>3</sup>/s (Tab. 1), er den her 1,296 cm<sup>3</sup>/s, altsaa 5 Gange saa stor. Til Forklaring af denne Abnormitet tjener, at Fp. før og efter Arbejdet sad let sammensunken, men rettede sig op og sad strunk og stiv under hele Arbejdet; efter Forsøgets Slutning klagede han over Træthed i Ryggen. Der har altsaa været en betydelig Spænding i hele Kropmuskulaturen, og nogen Overensstemmelse mellem Arbejdskurvens og Stofskiftets Forløb kan naturligvis ikke ventes under disse Forhold. Forsøget har ikke desto mindre en betydelig Interesse, især naar det sammenlignes med P. 17. I det ene Tilfælde ser vi nemlig, hvorledes et vanskeligt og uvant Arbejde kun medfører en ringe Stofskifteforøgelse, medens i det andet Tilfælde et let og tilvant Arbejde forøger Stofskiftet mange Gange stærkere. Denne Forskel er ganske uafhængig af selve det udførte Arbejde og kun bestemt ved Individets „Holdning“, som nærmest er en Følge af de ydre Forhold, den mere eller mindre magelige Stilling. Heraf kan for det første drages den Slutning, at det er uøkonomisk at udføre aandeligt Arbejde i en for ubekvem Stilling, da dette for Organismen som Helhed kan føre til et ganske unødvendigt Kraftspild. Og for det andet er det indlysende, at Undersøgelser over Stofskiftet ved aandeligt Arbejde kun kan give brugbare Resultater, naar man bestemmer Variationerne i Stofskiftet for en Række kortvarige Perioder, saaledes som det er bleven gennemført her. Kun derved bliver det muligt at følge Hvilestofskiftets Variationer og beregne de sandsynlige Tilvækster for Arbejdet, medens man ved en summarisk Bestemmelse af Stofskiftet, f. Ex. ved langvarige Kalorimetermaalinger, er ganske ude af Stand til at afgøre, i hvilken Grad Forandringer af Kropmuskulaturens Tonus har influeret paa Resultaterne.

Sammenfattes nu i Korthed de vundne Resultater, kan følgende Sætninger fastslaaes:

*Hvis et aandeligt Arbejde er saa let eller kortvarigt, at Træthedsfølelse ikke gør sig gældende, kan der desuagtet ofte være en ringe Trætheds effekt, idet Arbejdsmængden straks i Begyndelsen aftager lidt og derefter forbliver konstant; Stofskiftet viser da tilsvarende Variationer.*

*Hvis Arbejdet er tilstrækkelig langvarigt eller vanskeligt til at fremkalde en tydelig Træthedsfølelse, kan desuagtet Arbejdsmængden forblive konstant eller endog vokse mod Slutningen, men Stofskiftetilvæksterne vokser da i langt stærkere Forhold.*

*En mindre bekvem Stilling under Arbejdet kan forøge Stofskiftet i saa høj Grad, at det udførte Arbejdes Indflydelse paa Stofskiftetilvæksterne slet ikke lader sig paavise.*

I det følgende Afsnit skal vi nu søge at komme til Forstaaelse af de her paaviste Kendsgeninger.

## Teoretiske Konsekvenser.

De foreliggende Undersøgelers oprindelige Maal er ikke naaet. Det var Hensigten at faa bestemt Centralnervesystemets Andel i de Stofskifteforandringer, der ledsager forskellige sjælelige Virksomheder. Dette Problem synes i hvert Fald foreløbig at være uløseligt. Forsøgene førte til en Paavisning af, at Muskelspændinger

i visse Tilfælde maatte have en langt overvejende Andel i de maalte Stofskiftetilvækster, og det lykkedes at paavise, at de ogsaa var medvirkende i større Udstrækning, end man hidtil havde haft Formodning om, i saadanne Tilfælde, hvor Stofskiftetilvæksten ikke direkte tydede derpaa. Men hvor meget der i saa Fald maatte skrives paa Muskelspændingernes Regning, lod sig ikke afgøre. Nogen eksakt Besvarelse af Spørgsmaalet synes mig i det Hele taget ikke mulig. Ved dyrefysiologiske Undersøgelser kan man sikkert kunstigt tilvejebringe større eller mindre Tonusforøgelse i bestemte Muskler og maale den dermed følgende Stofskiftetilvækst. Men for at kunne bygge videre paa de saaledes vundne Resultater, maa man kunne maale Extensitet og Intensitet af de Tonusforandringer, der hos Mennesket ledsager de forskellige Opmærksomhedsanspændelser, og hertil har vi foreløbig intet Middel. Man kunde da tænke sig at gaa den Vej, at man benyttede patologiske Tilfælde, hvor Muskellammelser udelukkede Tonusforandringer, til Bestemmelse af Stofskiftet ved sjælelige Virksomheder. Men med Tonusforandringerne maatte rimeligvis ogsaa Fornemmelsen af Anstrengelse falde bort, saa at selve den sjælelige Virksomhed blev defekt og følgelig ikke vilde give Oplysninger om Forholdene hos normale Individer. Problemet bliver saaledes ikke let at løse, og at anstille Gisninger over Størrelsen af Centralorganets Stofskifte forekommer mig nærmest at være Tidsspilde. Vi har set, at en større Anspændelse meget let bringer Stofskiftetilvæksterne op til det dobbelte af det normale Forbrug, og at denne Forøgelse i det væsentlige maa skyldes Muskelspændinger. Der er altsaa intet til Hinder for, at ogsaa den normale Stofskiftetilvækst ved en sjælelig Virksomhed for Størstedelen kunde hidrøre fra samme Aarsag. Men hvorledes det faktisk forholder sig, om Nervesystemets Andel er 95 % eller kun 5 %, har vi foreløbig intet Middel til at afgøre.

Skønt vore Undersøgelser saaledes ikke har opfyldt de Forventninger, der blev stillet til dem, er de dog ikke helt uden teoretisk Interesse. De har givet os nye Indblik i den faste Forbindelse mellem sjælelige og legemlige Processer og dermed Data, paa hvilke man kan prøve Rigtigheden af de Hypoteser, der er opstillede om dette Forhold. Jeg skal gennemgaa de væsentligste af de fundne Kendsgerninger og søge at forklare disse.

Vi har set, at der bestaar en fast Forbindelse mellem Individets Fornemmelse af Anstrengelse ved en sjælelig Virksomhed og den dermed følgende Stofskiftetilvækst. Dette er ganske gaadefuldt, saalænge vi ikke véd, hvorfra Anstrengelsesfornemmelsen hidrører. Men naar den, som ovenfor paavist, er en Fornemmelse af Muskelspændinger, der vokser proportionalt med Komplikationen af de forløbende centrale Processer, saa er Overensstemmelsen mellem Anstrengelse og Stofskifte let forstaaelig: de er kun to forskellige Virkninger af meget nær samme Aarsag. Stofskiftetilvæksterne er det kemiske Resultat af samtlige neuro-muskulære Processer under Arbejdet, Anstrengelsesfornemmelsen er det psykiske Resultat specielt af Processens muskulære Part; disse to Virkninger maa nødvendigvis følges ad.

Vi har fremdeles set, at Stofskiftet vokser, endog meget betydeligt, naar Individet paa Grund af en eller anden Indisposition maa anspænde sig særlig stærkt

for at udføre et forelagt Arbejde. For at forklare dette behøver vi ikke at indlade os paa en Drøftelse af Opmærksomhedens Natur; jeg har andetsteds opstillet en Hypotese derom, som er i Stand til at forklare de hidtil foreliggende Kendsgerninger<sup>1)</sup>. Vi gaar blot ud fra det Faktum, at Stofskiftet ogsaa under normale Forhold, hvor der ikke er særlige Hindringer at overvinde, vil forøges desto mere, jo mere Individet maa anspænde sig paa Grund af Arbejdets Natur. Er det saaledes uomtvisteligt, at en større eller mindre Opmærksomhedsanspændelse medfører tilsvarende Stofskifteforandringer, er der intet mærkeligt i, at Stofskiftet vokser yderligere, naar ikke blot et Arbejde skal udføres, men ogsaa en Hindring for Udførelsen skal overvindes.

Endelig giver vore Undersøgelser os en dybere Indsigt i den aandelige Trætheds Natur, end man hidtil har haft. De fundne Kendsgerninger er, som vi har set, tilsyneladende ret selvmodsigende, saa at Sagen ikke kan være ganske enkel. THORNDIKE, som kun kender den ydre Side af Fænomenet, Træthedseffekten, drøfter paa Grundlag af dette Materiale to mulige Teorier: den energetiske og den biologiske<sup>2)</sup>. Den energetiske Teori, som ovenfor blev lagt til Grund for Forklaringen, antager, at Træthed beror paa et Forbrug af potentiel Energi; naar den til Raadighed staaende Arbejdsevne bliver mindre og mindre, maa Træthedseffekten vise sig ved Nedsættelse af Arbejdsydelsen. THORNDIKE finder denne Teori uholdbar, fordi Arbejdskurvens Forløb er altfor uregelmæssig til at have nogen Lighed med Vandtrykket fra en Beholder, hvorfra Vandet løber ud hurtigere end det strømmer ind. Derfor maa den energetiske Teori efter hans Mening opstille en hel Del Hjælpesystemer, hvilket altid er en stor Svaghed ved en Teori. Desuden staar Arbejdsmængdens bekendte Afhængighed af Interessen i ligefrem Modstrid med Opfattelsen af Træthed som beroende paa formindsket Arbejdsevne. Et Tilbud om en meget høj Betaling kan faa en træt Mand til endnu i lang Tid at fortsætte Arbejdet og yde meget nær ligesaa meget Arbejde pr. Time som tidligere paa Dagen. Men ingen Interesse kan forøge Nervesystemets Lager af potentiel Energi.

Hele denne Argumentation er naturligvis yderlig overfladisk. At Arbejdskurven ikke synker saa regelmæssig som Trykket i en Vandbeholder, beror vel først og fremmest derpaa, at de genopbyggende Virksomheder, der svarer til den indadgaende Vandstrøm i Beholderen, ikke virker kontinuert men periodisk i forskelligt Tempo. Det er Aandedræt og Blodcirkulation der muliggør Assimilationen, og disse virker tilmed i en levende Organisme, hvor en stor Mængde forskellige Processer skal holdes i Gang samtidig med det aandelige Arbejde. Ved dette Sammenspil af de forskellige Organers Virksomhed kommer der noget uregelmæssigt, tilsyneladende tilfældigt ind i det enkelte Organs Arbejde. Ganske det samme vil ogsaa ske med THORNDIKE'S Vandbeholder, hvis Tilstrømningen ikke er jævn.

Hertil kommer saa det andet Moment. Interesse kan selvfølgelig ikke skabe

<sup>1)</sup> Grundzüge der Psychophysiologie. Leipzig 1912, S. 494 og 509.

<sup>2)</sup> Anf. Skrift S. 119 o. f.



Energi. Men en ny Interesse, f. Eks. Tilbudet om højere Betaling, kan meget godt gøre Energimængder, som hidtil har henligget ubrugte, anvendelige for et givet Arbejde. Intet Menneske udfører legemligt eller aandeligt Arbejde uden i Kraft af et eller andet Motiv, d. v. s. en psykofysiologisk Proces, der enten udløser en motorisk Innervation eller fremkalder andre psykofysiologiske Processer af den Art, som Arbejdet kræver. Kommer der til et forhaandenværende Motiv et nyt, kraftigt Motiv, saa vil dette forstærke det oprindelige, hvorved enten den motoriske Innervations Intensitet forøges, eller muligvis andre Centrer, som hidtil ikke har været implicerede i Arbejdet, sættes i Funktion. Herved lader de Svingninger, som findes i Arbejdskurven saavel for legemligt som for aandeligt Arbejde, sig fuldstændig forklare. Naar man udfører et Ergogram, kan man let iagttage, hvorledes den blotte Forestilling om, at man vist godt kunde trække lidt kraftigere, medfører en Opgang, som dog sjælden er af lang Varighed. Det samme vilde vel ogsaa kunne konstateres ved et aandeligt Arbejde, hvis man ikke netop havde andet at bestille end at iagttage sig selv. Der er imidlertid en enkelt Svingning i Arbejdskurven, som THORNDIKE lægger særlig Vægt paa, fordi den synes at stride direkte mod den energetiske Teori, nemlig Begyndelsesstigningen; denne fortjener derfor en særlig Omtale. Faktum er, at ikke enhver Arbejdskurve begynder med den største Værdi: undertiden vokser Arbejdet i Begyndelsen til et Maximum for først derefter at aftage. Dette tyder efter THORNDIKE's Mening ikke paa et Energiforbrug, thi i saa Fald maatte Arbejdet straks aftage, og en Forøgelse i Begyndelsen kræver derfor en speciel Hjælpehypotese til sin Forklaring.

Ogsaa denne Argumentation er falsk. Hvis et Menneske daglig er beskæftiget med et bestemt Arbejde, saa har han vænnet sig til at udføre det i et vist Tempo, som tillader ham at fortsætte i Timevis uden at blive nævneværdig træt. Hos en saadan rutineret Arbejder vil der altsaa aldeles ikke kunne paavises nogen Aftagen i Arbejdsmængden, og rimeligvis vil det ogsaa være ham ret vanskeligt efter Anmodning at slaa ind i et hurtigere Tempo; han maa i hvert Fald arbejde sig op til det. Netop dette ser man hos Fp. P., naar han adderer (Fig. 4 og 16); Arbejdskurven begynder jævnlig med de mindste og ender med de største Værdier (P. 5 og P. 6). Derimod findes hos den mere ivrige Fp. N., der ikke var særlig rutineret i dette Arbejde, ikke i et eneste Tilfælde nogen Begyndelsesstigning; Arbejdet sætter straks ind med den største Værdi (Fig. 3 og 6). Hos Fp. L. findes begge Former (Fig. 8 og 10). Begyndelsesstigningen er saaledes aldeles ikke noget konstant Fænomen, men afhængig dels af Individets Fortrolighed med det Arbejde, der skal udføres, dels af den Iver, hvormed Opgaven gribes an. Det ses maaske bedst i Forsøget P. 17, hvor Fp. P. multiplicerede trecifrede Tal, hvad han aldrig tidligere havde givet sig af med. Her mangler altsaa et tilvant Tempo, og da Fp. er nødsaget til at anstrenge sig for at løse den for ham ret vanskelige Opgave, synker Arbejdskurven straks fra Begyndelsen (Fig. 16).

Der er altsaa, saa vidt jeg kan se, aldeles ingen Nødvendighed for Hjælpehypoteser til Forklaring af Arbejdskurvens Form. Hvis Arbejdstempoet fra Begyn-



delsen ikke er større, end at Forbrug og Tilførsel, Dissimilation og Assimilation holder hinanden i Ligevegt, saa opstaar ingen Træthed, og følgelig er der heller ingen Trætheds-effekt. Hvis Arbejdstempoet derimod straks fra Begyndelsen gaar til Grænsen af Individets øjeblikkelige Ydeevne, kan Tilførslen ikke dække Forbruget, og det arbejdende Organ trættes; i saa Fald ses en Trætheds-effekt, Formindskelse af Arbejdsmængden. Hvad enten Træthed opstaar eller ej, vil Arbejdskurven altid forløbe noget uregelmæssigt, hvilket dels skyldes de fysiologiske Funktioners Periodicitet dels sjælelige Momenter, saasom Individets Temperament, Tilvanthed overfor Arbejdet og særlige Motiver, hvis Opdukken paa ethvert Tidspunkt under Arbejdet kan forandre Arbejdstempoet. Disse forskellige Forhold influer ligesaa vel paa Muskelarbejde som paa Aandsarbejde, men for begge Virksomheder er dog i sidste Instans de til Raadighed staaende Energimængder det afgørende.

Disse disponible Energimængder og deres Forandringer under Arbejdet faar vi netop Kendskab til gennem Stofskiftebestemmelserne. At Stofskiftetilvæksterne under det aandelige Arbejde ikke svinger med den præsterede Arbejdsmængde er til dels en Følge af, at vor Metode er for grov til at paavise slige Svingninger, hvis de forekommer. Da vi kun bestemmer Stofskiftet for Perioder af 10 Min. Varighed, kan hurtigere forløbende Variationer naturligvis ikke konstateres. Men iøvrigt blev det paavist ovenfor (S. 21, Fig. 4), at Iltoptagelsen i hvert Fald ofte er periodisk og ganske uafhængig af den i det givne Moment præsterede Arbejdsmængde; der er følgelig næppe nogen Mulighed for at genfinde Arbejdsmængdens Variationer i Stofskiftet undtagen for lange Tidsrum, hvor Træthed kan gøre sig gældende. Under disse Forhold fandt vi da ogsaa en ringe Formindskelse af Stofskiftetilvæksterne med aftagende Arbejdsmængde, naar Træthedsfølelse ikke gjorde sig gældende, hvorefter ved langvarige og mere anstrengende Arbejder altid var en Stofskifteforøgelse, hvad enten Arbejdsmængden formindskedes eller holdt sig konstant. Det er aabenbart dette paradoxale Fænomen, der nærmere maa forklares.

For det første er det indlysende, at man ved voksende Træthed kun vil kunne naa at holde Arbejdsmængden nogenlunde konstant, hvis man stadig bestræber sig for at yde det mest mulige. Hvis man derimod giver efter for Trætheden og ned-sætter Arbejdstempoet, vil Arbejdsmængden, og dermed sikkert ogsaa Stofskiftet, stadig formindskes. Vi har ganske vist ingen Maalinger, som direkte viser dette, men det er indlysende, at Stofskiftet synker til Hvilenniveauet, hvis Individet helt holder op med at arbejde. En tilstrækkelig Formindskelse af Arbejdsmængden maa altsaa ogsaa formindskes Stofskiftet. For det andet blev det allerede ovenfor paavist, hvorledes en særlig Interesse, et nyt Motiv til Anstrengelse meget vel kan tænkes at gøre hidtil ubrugte Energiilagre disponible for Arbejdet. Der er altsaa intet mærkeligt i, at Individets Bestræbelser for trods Trætheden at yde saa meget som muligt kan holde Arbejdsmængden ret konstant. Hvad der skal forklares, er saaledes kun, hvorfor Stofskiftet under disse Forhold vokser saa overordentlig stærkt. En Analogi fra det rene Muskelarbejde vil maaske bedst forklare Sagen.

Lad os tænke os en Mand staaende oprejst og bærende en Vægt paa f. Ex.

10 kg i den nedhængende højre Arm. Naar han løfter denne Vægt i regelmæssig Takt f. Ex. 10 cm., vil han efterhaanden blive træt og kan tilsidst ikke løfte den saa højt. Tager han nu med venstre Haand om sit højre Haandled, vil han ved Hjælp af begge Arme endnu i nogen Tid kunne præstere den samme Mængde Arbejde. Men saasnart han maa tage venstre Haand til Hjælp, vil Stofskiftet forøges meget betydelig. Thi venstre Arm kommer til at virke under Forhold, hvor Muskernes Nyttevirkning er meget mindre end højre Arms; samme Arbejdsmængde udført af venstre Arm i dens højede Stilling vil derfor kræve et meget større Energi-forbrug. I Analogi hermed maa vi tænke os Forholdene ved den aandelige Træthed. Idet Individet anspænder sig for at kunne præstere Arbejdet, træder formodentlig nye Centrer i Funktion, og samtidig forøges i høj Grad Muskernes latente Innervation. Kun en saadan forøget Muskeltonus kan forklare den stærke Tilvækst i Stofskiftet, men Nyttevirkningen af de forløbende Processer bliver derved stærkt nedsat, da Vedligeholdelsen af en konstant Arbejdsydelse ofte kræver mere end For-dobling af Stofforbruget.

Den energetiske Teori kan saaledes forklare baade Arbejdskurvens Forløb og de samtidige Stofskifteforandringer. THORNDIKE, hvis overfladiske Argumentation bringer ham til at forkaste denne Teori, mener, at Arbejdsmængdens Formindskelse mere skyldes den Omstændighed, at Arbejdet bliver utilfredsstillende, end at det bliver nedsat paa Grund af manglende Energi. Hvad der er Brug for, er følgende en Teori, der er i Stand til at forklare, hvorfor aandeligt Arbejde fortsat uden Hvile bliver mindre og mindre tilfredsstillende. „This the Biological or Response Theory tries to do. Work without rest, it maintains, becomes less satisfying 1. by losing the zest of novelty, 2. by producing ennui, a certain intellectual nausea, sensory pains and even headache, and 3. by imposing certain deprivations — for instance, from physical exercise, social intercourse, or sleep”<sup>1)</sup>. Alle disse forskellige Momenter faar utvivlsomt Betydning, hvis et Menneske er nødsaget til at arbejde et ganske urimeligt Antal Timer Dag ud og Dag ind. Men overfor vore ganske kortvarige Forsøgsarbejder, som Fp. var interesserede i at se Udfaldet af, kommer alt dette slet ikke i Betragtning, da Arbejdet overhovedet ikke naar at blive „utilfredsstillende”. THORNDIKE's biologiske Teori tager aabenbart Sigte paa noget helt andet end Træthed i almindelig Forstand, som den slet ikke er i Stand til at forklare.

Selve det Faktum, at Stofskiftet ved mere anstrengende Arbejder vokser betydelig, naar Træthedsfølelsen begynder at gøre sig gældende, synes mig at være et ret afgørende Bevis for, at Stofomsætningen i Centralorganet under sjælelig Virksomhed ikke er aldeles forsvindende. Hvis Centralorganet nemlig kun havde samme Funktion som de perifere Nervetraade: at forplante Bevægelser, er det ganske ufatte-ligt, hvorledes Træthed ved aandeligt Arbejde overhovedet kunde komme i Stand. Thi ved Nervetraadenes Forplantning af Bevægelser finder der vel paaviselige, men dog umaalelig smaa Stofomsætninger Sted. I Hjernebarken maatte disse smaa For-

<sup>1)</sup> Anf. Skrift S. 122.

ændringer øjeblikkelig kunne udlignes paa Grund af Organets rigelige Forsyning med Blodkar. En Ophobning af Dekompositionsprodukter, forøget Overgangsmodstand i Synapserne eller hvilke andre Momenter, man har antaget som Aarsag til de ved Organets Virksomhed indtrædende Hæmninger, kan dog kun komme i Stand, hvis der i Neuronerne sker Forandringer, som ikke øjeblikkelig ophæves. Men en saadan Forandring, uanset af hvad Art den er, forudsætter som primært Moment en Transformation af kemisk Energi, altsaa en Stofomsætning. Da Træthed som Følge af aandeligt Arbejde nu maa betragtes som en uomtvistelig Kendsgerning, hvad de foreliggende Stofskifteundersøgelser viser, synes der heller ikke at kunne være Tvivl om, at Centralorganets Andel i de fundne Stofskifteforandringer staar i et rimeligt Forhold til Organets Masse. Denne Slutning støttes desuden af de to bekendte Fakta: at sjælelig Virksomhed medfører en livligere Blodtilstrømning til Hjernen, og at en Standsning af Blodtilstrømningen ved Sammenpresning af Carotiderne næsten øjeblikkelig har Bevidstløshed til Følge. Ogsaa dette vilde være ganske uforstaaeligt, hvis Hjernevirksomhed kunde foregaa uden Stofomsætning.

Man maa altsaa gaa ud fra, at al sjælelig Virksomhed er uløselig knyttet til legemlige Forandringer i Storhjernen. Dette forudsatte FECHNER allerede i sin „Psychophysik“ 1860, men om selve Forholdet mellem de til hinanden knyttede sjælelige og legemlige Fænomener kunde han ikke med Sikkerhed sige noget. Aarsagen hertil, mener han, er den, at vi ikke samtidig kan iagttage de sammenhørende Fænomener. Forholdene i den legemlige Verden kan vi umiddelbart iagttage saa langt, vore Sanser og de til deres Hjælp konstruerede Apparater rækker; Forholdene mellem de sjælelige Fænomener kan enhver umiddelbart iagttage i sin egen Bevidsthed. Naar vi nu ikke kan se Forholdet mellem det sammenhørende sjælelige og legemlige, maa dette ligge i, at disse Fænomener kun kan iagttages fra forskellige Standpunkter, i hvilke vi ikke samtidig kan befinde os. En Analogi hertil har man i den forskellige Opfattelse af en Cirkel; befinder man sig indenfor Kredsen, ses den som konkav, befinder man sig udenfor Kredsen, derimod som konvex, og det er umuligt fra noget Punkt i dens Plan samtidig at se den som konkav og konvex, skønt disse to Sider aldeles ikke kan adskilles<sup>1)</sup>.

Det Billede, som FECHNER her opstiller for at anskueliggøre Forholdet mellem de uløselig forbundne sjælelige og legemlige Fænomener, har gjort en aldeles uberegnelig Skade i Videnskaben. I mere end et halvt Aarhundrede har det forhindret det nære Samarbejde mellem Fysiologi og Psykologi, som en virkelig Forstaaelse af de sjælelige Fænomener nødvendigvis vil kræve. FECHNER's Billede er nemlig bleven ophøjet til metafysisk Teori. Ligesom Cirkelns konvexe og konkave Side kun er to forskellige Former, hvorunder den samme Sag, Cirkellinien, kan anskues, saaledes har man ment, at det sjælelige og de samtidige Hjerneprocesser ogsaa kun var to Udtryk for et samme til Grund liggende: hvad der indefra set viste sig som Bevidsthedsfænomener, maatte udefra set vise sig som materielle Forandringer

<sup>1)</sup> FECHNER: Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860. Bd. 1, S. 1—2.

i Hjernen. Heraf følger konsekvent, at Psykologi og Fysiologi aldeles ikke vedkommer hinanden. Psykologen iagttager i sin egen Bevidsthed de sjælelige Fænomeners Kausalforhold, Fysiologen undersøger i en levende Hjerne de materielle Processers Lovmæssighed — saa vidt de i det Hele taget er tilgængelige for hans iagttagelse —, og den Indsigt, de to Forskere saaledes opnaar, angaar en og samme Sag udtrykt i to forskellige Sprog. Derfor har mange Psykologer konsekvent bekæmpet enhver Indblanding af Fysiologi i Psykologien, fordi dette kun kunde blive en „Oversættelse“ af psykologisk Viden i fysiologiske Talemaader, hvortil der aldeles ingen Anledning er, da vor Indsigt i Sjælelivet er mere umiddelbar og foreløbig adskillig mere indgaaende end vort Kendskab til Fænomenernes fysiologiske Side. Og Fysiologerne er ogsaa ret villig gaaede ind paa denne Betragtningmaade, fordi den fritager dem for overhovedet at befatte sig med det uhaandgribelige og taagede sjælelige.

FECHNER's Lignelse er imidlertid ganske misvisende. Det er nemlig aldeles ikke umuligt samtidig at iagttage de sammenhørende legemlige og sjælelige Fænomener; det lader sig gøre paa samme Maade og ligesaa sikkert, som man kan observere sammenhørende materielle Processer. Ved enhver kemisk Proces f. Ex. er der altid to uløselig forbundne Fænomener: Stofomsætningen og Varmetoningen. Exempelvis kan vi tænke os, at Brint forbrændes i Ilt; derved dannes Vand. Denne Stofomsætning udtrykker Kemikeren ved den stœchiometriske Formel:  $H_2 + O = H_2O$ , men dette er kun den ene Side af Processen. Samtidig udvikles Varme, og Maalingerne fører til den Sætning: ved Forbrænding af 1 g Brint i Ilt udvikles 67500 cal. Hver af disse to Sætninger tager altsaa kun Hensyn til sin Side af Processen, enten Stofomsætningen eller Varmetoningen, men i Virkeligheden er disse Fænomener uløselig forbundne, hvilket udtrykkes i den termokemiske Formel:  $H_2 + O = H_2O + 67500 \text{ cal}$ . De to sammenhørende Fænomener kan nu, som FECHNER hævder, iagttages samtidig; dog maa man ikke tage dette „samtidig“ altfor bogstaveligt. Man kan se, at der ved Brintens Forbindelse med Iltten dannes Vand; rigtignok kan man hverken se Brinten eller Iltten, men man kan i Forvejen ved bestemte Prøver have overbevist sig om, at man har disse Luftarter. Vandet kan man rigtignok heller ikke se, før Dampen er fortættet, hvilket dog kræver nogen Tid. Samtidig kan man iagttage Varmeudviklingen, idet Kalorimetrets Termometer ses at stige under hele Forbrændingen. Hvad der selv i dette ganske enkle Tilfælde virkelig iagttages, er aabenbart blot Processens Resultater: de Omlejringer indenfor Molekulerne, hvorved Brint- og Iltmolekulerne spaltes og danner Vandmolekuler af højere Temperatur, kan aldeles ikke ses. Naar vi overhovedet ved noget derom, skyldes det iagttagelser, som maa gøres under ganske andre Omstændigheder.

Ifølge Sagens Natur er vort Kendskab til de Hjerneprocesser, der ledsager bestemte sjælelige Fænomener, ikke saa indgaaende som vor Forstaaelse af den enkle, kemiske Proces. Det indskrænker sig vel nærmest til visse ledsagende Momenter, saasom Forandringer i Hjernepulsens Højde, og Slutningsresultatet, det forøgede Stofskifte. Det lidet, der iøvrigt vides om Virksomheden i selve de arbejvende



Neuroner, skyldes Undersøgelser, som af etiske Grunde slet ikke kan anstilles paa Mennesker. Men alt, hvad Fysiologen direkte kan se vedrørende de Hjerneprocesser, der ledsager en sjælelig Virksomhed, kan ogsaa iagttages samtidig med denne; „samtidig“ maa naturligvis her tages i samme ikke for bogstavelige Forstand som ved de kemiske Undersøgelser. Med vore Dages Teknik er der ikke det mindste til Hinder for, at Forsøgspersonen, som udfører et aandeligt Arbejde, samtidig kan have for Øje den Kymograftrømler, hvorpaa de ledsagende materielle Fænomener registreres. Her kan han se Forøgelsen i Aandefang og Aandedræts hyppighed, og har han et Hul i Kraniet, kan han tillige se de Svingninger i Hjernens Volumen og Pulshøjde, som ledsager Arbejdet. Der er saaledes ingen væsentlig Forskel paa Fysiologens og Kemikerens Stilling til de Fænomener, de observerer. Naar Fysiologen selv er Forsøgspersonen, kan han samtidig opleve en sjælelig Virksomhed og se de ledsagende materielle Processer, ligesom Kemikeren samtidig kan iagttage Stofomsætning og Varmetoning ved en kemisk Proces. Derfor er der heller ingen Grund til at opfatte Forholdet mellem de sammenhørende sjælelige og legemlige Fænomener paa anden Maade end Forholdet mellem Stofomsætning og Varmetoning: det er to uøselig forbundne Led i en kompliceret Proces.

Dette er nu faktisk ogsaa den Opfattelse, som de fleste Psykologer gennemfører i Praksis, selv om de teoretisk hylder Parallelismen. Det postulerede ubrudte Aarsagssammenhæng paa psykisk Omraade eksisterer nemlig som bekendt slet ikke. Der gives en Vrimmel af sjælelige Fænomener, til hvilke der overhovedet ikke kan findes psykiske Aarsager, hvorfor man enten frit maa opdigte Aarsager eller tage sin Tilflugt til de ledsagende materielle Processer, hvis man vil have en Forklaring. Som oplysende Exempel vil det være tilstrækkeligt at tage det fundamentale sjælelige Fænomen, at en Forestilling *B* kan reproducere af en anden Forestilling *A*, med hvilken den tidligere har været samtidig. Hvorledes dette gaar for sig, er en ren Gaade; paa psykisk Omraade findes ikke det mindste, der kan forklare Sagen. *B* har overhovedet ikke eksisteret som psykisk Fænomen fra det Moment, hvor den sidst var sammen med *A*, og indtil det Nu, hvor den reproducere af *A*. Hvor kommer *B* saa fra? Sagen bliver først forstaaelig, naar det fastholdes, at en sjælelig Tilstand ligesaa lidt kan eksistere uden en samtidig materiel Proces, som en Stofomsætning kan forekomme uden en Varmetoning. Naar det materielle Led i Tilstanden *A* fremkalder det materielle Led i Tilstanden *B*, hvortil en Disposition er tilvejebragt ved deres tidligere Sammentræf, saa er med dette materielle Led ogsaa den sjælelige Tilstand *B* givet.

Som i dette Tilfælde saaledes i alle andre, hvor psykiske Aarsager ikke lader sig paaavise. Derfor er Psykofysiologien et nødvendigt Led af Psykologien, sideordnet med den deskriptive Psykologi. Det er ikke to af hinanden uafhængige Videnskaber, der tildels kan ignorere hinandens Resultater; de supplerer tværtimod hinanden som Støchiometri og Termokemi. Erkendelsen heraf er den nødvendige Betingelse for, at Psykologien skal blive Videnskab i strengere Forstand. Psykologisterne, der ikke vil vide af Fysiologi at sige, nødes til paa mangfoldige Punkter at konstruere



psykiske Aarsager, der overhovedet intetsteds lader sig eftervise, hvorved den hele Retning faar en alt andet end videnskabelig Karakter. Og Fysiologerne, der dog hist og her ikke kan undgaa at støde paa sjælelige Fænomener, hjælper sig ved Omtalen af disse altfor ofte med en Vulgarpsykologi, der ret jævnlig bringer dem til at overse de afgørende Punkter. Begge disse ensidige Standpunkter har allerede gjort megen paaviselig Skade. Naar Bevidsthedsfænomenerne er psykofysiologiske Processer, maa de undersøges saavel fra den materielle som fra den psykiske Side med klar Forstaaelse af, at det andet Led i Processen er et ligesaa væsentligt Moment som det, hvormed Forskeren netop er beskæftiget.

Tab. 5.

| Løbe-Nr.  | Periode | Varigh. i Min. | Arbejde        | Respiration pr. Min. | Aandefang          |           |      | udaanded $CO_2$ |                    |           |        | optaget $O_2$ |                    |           |        | Resp.kvot. |
|---|---------|----------------|----------------|----------------------|--------------------|-----------|------|-----------------|--------------------|-----------|--------|---------------|--------------------|-----------|--------|------------|
|   |         |                |                |                      | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.   | %               | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.     | %             | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.     |            |
| L. 1.<br><sup>10</sup> / <sub>10</sub> 17<br>762 mm<br>18° C. | I       | 10             | Ro             | 15,1                 | 104,3              |           |      | 2,00            | 2,71               |           |        | 2,83          | 3,02               |           |        | 0,898      |
|   | II      | 5              | 405 Additioner | 14,6                 | 126,3              | 21,8      |      | 2,53            | 3,20               | 0,52      |        | 2,39          | 3,14               | 0,14      |        | 1,018      |
|   | III     | 10             | 821 —          | 13,3                 | 113,2              | 8,2       |      | 2,47            | 2,80               | 0,19      |        | 2,64          | 3,04               | 0,08      |        | 0,920      |
|   | IV      | 10             | 801 —          | 11,9                 | 107,5              | 1,8       | 4,5  | 2,47            | 2,66               | 0,16      | 0,216  | 2,69          | 2,96               | 0,07      | 0,093  | 898        |
|   | V       | 10             | 782 —          | 12,8                 | 106,3              | 0,0       |      | 2,50            | 2,66               | 0,26      |        | 2,73          | 2,97               | 0,14      |        | 896        |
|   | VI      | 10             | 721 —          | 11,4                 | 106,0              | -1,0      |      | 2,25            | 2,39               | 0,10      |        | 2,58          | 2,82               | 0,06      |        | 844        |
|   | VII     | 5              | Ro*            | 15,6                 | 107,3              |           |      | 2,09            | 2,24               |           |        | 2,45          | 2,73               |           |        | 821        |
|   | VIII    | 10             | Ro             | 17,6                 | 110,7              |           |      | 2,03            | 2,25               |           |        | 2,57          | 3,00               |           |        | 0,748      |
| L. 2.<br><sup>20</sup> / <sub>10</sub> 17<br>745 mm<br>16° C. | I       | 10             | 15 Aandedrag   | 15,3                 | 127,5              |           |      | 2,68            | 3,42               |           |        | 2,73          | 3,50               |           |        | 0,977      |
|   | II      | 5              | 12 —           | 13,2                 | 109,0              | -18,6     |      |                 |                    |           |        |               |                    |           |        |            |
|   | III     | 5              | 12 —           | 14,0                 | 117,8              | -10,0     |      | 2,80            | 3,30               | -0,04     |        | 2,92          | 3,48               | +0,03     |        | 948        |
|   | IV      | 5              | 12 —           | 13,0                 | 116,4              | -11,6     |      | 2,80            | 3,26               | -0,03     |        | 2,92          | 3,44               | +0,02     |        | 948        |
|   | V       | 5              | 12 —           | 13,0                 | 116,5              | -11,7     | 22,7 | 2,84            | 3,31               | +0,07     | -0,263 | 2,88          | 3,37               | -0,02     | -0,132 | 983        |
|   | VI      | 5              | 12 —           | 12,0                 | 102,6              | -25,8     |      | 2,78            | 2,85               | -0,34     |        | 2,99          | 3,13               | -0,23     |        | 913        |
|   | VII     | 5              | 12 —           | 11,8                 | 87,4               | -41,2     |      | 2,88            | 2,52               | -0,62     |        | 3,26          | 2,94               | -0,39     |        | 857        |
|   | VIII    | 5              | 12 —           | 11,6                 | 88,5               | -40,3     |      | 2,79            | 2,47               | -0,62     |        | 3,03          | 2,74               | -0,66     |        | 0,901      |
|   | IX      | 5              | 15 —           | 14,0                 | 127,8              |           |      | 2,88            | 3,58               |           | +0,54  | 2,73          | 3,47               |           | +0,20  | 1,031      |
|   | X       | 15             | 15 —           | 15,1                 | 129,2              |           |      | 2,33            | 3,01               |           |        | 2,48          | 3,26               |           |        | 0,924      |
| L. 3.<br><sup>2</sup> / <sub>11</sub> 17<br>766 mm<br>16° C.  | I       | 10             | Ro             | 15,2                 | 126,7              |           |      | 2,60            | 3,30               |           |        | 2,72          | 3,49               |           |        | 0,945      |
|   | II      | 5              | 432 Additioner | 13,6                 | 130,6              | 4,6       |      | 2,51            | 3,28               | 0,01      |        | 2,52          | 3,30               | -0,17     |        | 995        |
|   | III     | 10             | 961 —          | 11,0                 | 109,8              | -14,1     |      | 2,74            | 3,01               | -0,16     |        | 2,93          | 3,27               | -0,14     |        | 919        |
|   | IV      | 10             | 894 —          | 11,3                 | 106,0              | -15,1     | -9,9 | 2,58            | 2,74               | -0,30     | -0,063 | 2,77          | 2,99               | -0,35     | -0,139 | 914        |
|   | V       | 10             | 924 —          | 9,9                  | 108,8              | -9,5      |      | 2,80            | 3,05               | 0,14      |        | 2,99          | 3,31               | +0,05     |        | 920        |
|   | VI      | 10             | 926 —          | 9,6                  | 107,2              | -8,3      |      | 2,62            | 2,81               | 0,03      |        | 2,83          | 3,09               | -0,10     |        | 908        |
|   | VII     | 5              | Ro             | 14,2                 | 100,6              |           |      | 2,50            | 2,52               |           |        | 3,02          | 3,18               |           |        | 790        |
|   | VIII    | 10             | Ro             | 15,9                 | 112,8              |           |      | 2,35            | 2,65               |           |        | 2,67          | 3,11               |           |        | 0,853      |

| Løbe-Nr.                  | Periode | Varigh. i Min. |     | Arbejde    | Respiration pr. Min. | Aandefang          |           |        | udaand CO <sub>2</sub> |                    |           |         | optaget O <sub>2</sub> |                    |           |         | Res.p.vot. |
|---------------------------|---------|----------------|-----|------------|----------------------|--------------------|-----------|--------|------------------------|--------------------|-----------|---------|------------------------|--------------------|-----------|---------|------------|
|                           |         |                |     |            |                      | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.     | %                      | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.      | %                      | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.      |            |
| L. 4.<br>747 mm<br>17° C. | I       | 10             | 15  | Respirat.  | 15,0                 | 133,3              |           |        | 2,77                   | 3,69               |           |         | 2,88                   | 3,88               |           |         | 0,952      |
|                           | II      | 5              | 10  | —          | 11,4                 | 119,0              | — 13,2    |        | 3,04                   | 3,52               | — 0,13    |         | 3,16                   | 3,80               | — 0,04    |         | 952        |
|                           | III     | 10             | 10  | —          | 11,7                 | 109,0              | — 19,9    | — 16,1 | 3,11                   | 3,39               | — 0,14    | — 0,067 | 3,23                   | 3,56               | — 0,16    | 0,014   | 953        |
|                           | IV      | 10             | 10  | —          | 11,4                 | 108,8              | — 15,8    |        | 3,09                   | 3,36               | — 0,01    |         | 3,34                   | 3,70               | + 0,14    |         | 908        |
|                           | V       | 10             | 10  | —          | 10,7                 | 106,0              | — 14,2    |        | 3,01                   | 3,19               | — 0,02    |         | 3,24                   | 3,49               | + 0,09    |         | 913        |
|                           | VI      | 5              | 15  | —          | 14,2                 | 118,4              |           |        | 2,65                   | 3,14               |           |         | 2,78                   | 3,34               |           |         | 940        |
|                           | VII     | 10             | 15  | —          | 14,9                 | 115,8              |           |        | 2,63                   | 3,05               |           |         | 2,79                   | 3,24               |           |         | 0,940      |
| L. 5.<br>759 mm<br>20° C. | I       | 5              |     | Ro         | 17,6                 | 135,0              |           |        | 2,30                   | 3,10               |           |         | 2,57                   | 3,56               |           |         | 0,872      |
|                           | II      | 1              | 292 | kg-mm/s    |                      | 192,0              | 57,0      |        |                        | 6,09               | 2,99      |         |                        | 6,33               | 2,77      |         |            |
|                           | III     | 1              | 216 | —          |                      | 196,5              | 61,5      |        |                        | 6,23               | 3,13      |         |                        | 6,47               | 2,91      |         |            |
|                           | IV      | 1              | 187 | —          | 15,0                 | 211,6              | 76,6      |        | 3,17                   | 6,72               | 3,62      |         | 3,27                   | 6,98               | 3,42      |         | 0,963      |
|                           | V       | 1              | 175 | —          |                      | 229,2              | 94,2      |        |                        | 7,27               | 4,17      |         |                        | 7,55               | 3,99      |         |            |
|                           | VI      | 1              | 185 | —          |                      | 209,2              | 74,2      |        |                        | 6,63               | 3,53      |         |                        | 6,89               | 3,33      |         |            |
|                           | VII     | 1              | 181 | —          |                      | 221,3              | 86,3      |        |                        | 6,58               | 3,48      |         |                        | 6,39               | 2,83      |         |            |
|                           | VIII    | 1              | 177 | —          |                      | 219,8              | 84,8      |        |                        | 6,53               | 3,43      |         |                        | 6,34               | 2,78      |         |            |
|                           | IX      | 1              | 174 | —          | 14,6                 | 223,5              | 88,5      | 70,6   | 2,97                   | 6,64               | 3,54      | 3,05    | 2,90                   | 6,44               | 2,88      | 2,65    | 1,030      |
|                           | X       | 1              | 176 | —          |                      | 215,8              | 80,8      |        |                        | 6,41               | 3,31      |         |                        | 6,23               | 2,67      |         |            |
|                           | XI      | 1              | 159 | —          |                      | 211,2              | 76,2      |        |                        | 6,28               | 3,18      |         |                        | 6,10               | 2,54      |         |            |
|                           | XII     | 1              | 150 | —          |                      | 195,5              | 60,5      |        |                        | 5,44               | 2,34      |         |                        | 5,61               | 2,05      |         |            |
|                           | XIII    | 1              | 153 | —          |                      | 192,3              | 57,3      |        |                        | 5,35               | 2,25      |         |                        | 5,52               | 1,96      |         |            |
|                           | XIV     | 1              | 164 | —          | 14,0                 | 196,6              | 61,6      |        | 2,78                   | 5,47               | 2,37      |         | 2,85                   | 5,64               | 2,08      |         | 0,970      |
|                           | XV      | 1              | 165 | —          |                      | 195,5              | 60,5      |        |                        | 5,42               | 2,32      |         |                        | 5,59               | 2,03      |         |            |
|                           | XVI     | 1              | 165 | —          |                      | 174,2              | 39,2      |        |                        | 4,85               | 1,75      |         |                        | 5,01               | 1,45      |         |            |
|                           | XVII    | 5              |     | Ro         | 18,4                 | 153,5              |           |        | 2,20                   | 3,38               |           |         | 2,50                   | 3,96               |           |         | 853        |
|                           | XVIII   | 5              |     | Ro         | 17,8                 | 133,9              |           |        | 2,31                   | 3,10               |           |         | 2,73                   | 3,81               |           |         | 812        |
|                           | XIX     | 5              |     | Ro         | 19,0                 | 138,4              |           |        | 2,18                   | 3,02               |           |         | 2,53                   | 3,63               |           |         | 0,831      |
| L. 6.<br>762 mm<br>18° C. | I       | 10             |     | Ro         | 13,0                 | 126,3              |           |        | 2,60                   | 3,23               |           |         | 2,61                   | 3,30               |           |         | 0,995      |
|                           | II      | 5              | 539 | Additioner | 11,2                 | 104,6              | — 21,7    |        | 2,53                   | 2,65               | — 0,63    |         | 2,76                   | 2,95               | — 0,35    |         | 897        |
|                           | III     | 10             | 871 | —          | 11,4                 | 103,5              | — 22,8    | — 9,5  | 2,35                   | 2,44               | — 0,79    | — 0,270 | 2,62                   | 2,79               | — 0,51    | — 0,161 | 873        |
|                           | IV      | 10             | 915 | —          | 11,2                 | 125,5              | — 0,8     |        | 2,68                   | 3,36               | + 0,18    |         | 2,69                   | 3,38               | + 0,08    |         | 995        |
|                           | V       | 10             | 898 | —          | 12,8                 | 127,6              | + 1,3     |        | 2,43                   | 3,10               | — 0,02    |         | 2,58                   | 3,34               | + 0,04    |         | 927        |
|                           | VI      | 5              |     | Ro         | 15,0                 | 125,7              |           |        | 2,42                   | 3,04               |           |         | 2,62                   | 3,36               |           |         | 905        |
|                           | VII     | 10             |     | Ro         | 13,1                 | 126,3              |           |        | 2,42                   | 3,06               |           |         | 2,57                   | 3,30               |           |         | 0,927      |
| L. 8.<br>773 mm<br>17° C. | I       | 10             |     | Ro         | 17,6                 | 123,4              |           |        | 1,97                   | 2,43               |           |         | 2,31                   | 2,95               |           |         | 0,822      |
|                           | II      | 5              | 1,5 | St.        | 16,8                 | 143,2              | 21,0      |        | 2,12                   | 3,04               | 0,64      |         | 2,26                   | 3,29               | 0,36      |         | 923        |
|                           | III     | 10             | 2,5 | —          | 17,0                 | 127,7              | 8,9       | 11,5   | 2,07                   | 2,64               | 0,31      | 0,406   | 2,31                   | 3,03               | 0,16      | 0,309   | 872        |
|                           | IV      | 10             | 2,5 | —          | 16,1                 | 126,8              | 12,6      |        | 2,07                   | 2,63               | 0,40      |         | 2,42                   | 3,17               | 0,38      |         | 825        |
|                           | V       | 10             | 3,0 | —          | 14,7                 | 117,7              | 8,1       |        | 2,14                   | 2,52               | 0,39      |         | 2,51                   | 3,07               | 0,36      |         | 821        |
|                           | VI      | 5              |     | Ro*        | 15,4                 | 107,3              |           |        | 1,89                   | 2,03               |           |         | 2,36                   | 2,66               |           |         | 761        |
|                           | VII     | 10             |     | Ro         | 16,9                 | 118,8              |           |        | 1,89                   | 2,25               |           |         | 2,37                   | 2,96               |           |         | 0,758      |

| Løbe-Nr.                                       | Periode | Varigh. i Min. | Arbejde          | Respiration pr. Min. | Aandefang          |           |      | udaanded $CO_2$ |                    |           |                | optaget $O_2$ |                    |           |                | Resp.kvot. |
|--|---------|----------------|------------------|----------------------|--------------------|-----------|------|-----------------|--------------------|-----------|----------------|---------------|--------------------|-----------|----------------|------------|
|  |         |                |                  |                      | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.   | %               | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.             | %             | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.             |            |
| L. 9.<br>$\frac{1}{2}$ 18<br>780 mm<br>17° C.  | I       | 10             | Ro, nedsat Resp. | 12,3                 | 84,0               |           |      | 2,21            | 1,86               |           |                | 2,56          | 2,22               |           |                | 0,834      |
|  | II      | 5              | 477 Additioner   | 11,6                 | 141,4              | 58,1      |      | 2,47            | 3,49               | 1,66      |                | 2,22          | 3,05               | 0,86      |                | 1,147      |
|  | III     | 10             | 1024             | 13,0                 | 118,5              | 37,5      | 36,9 | 2,14            | 2,53               | 0,80      | 0,823          | 2,21          | 2,64               | 0,54      | 0,774          | 0,960      |
|  | IV      | 10             | 930              | 15,4                 | 107,8              | 29,7      |      | 1,93            | 2,08               | 0,48      |                | 2,28          | 2,56               | 0,61      |                | 811        |
|  | V       | 10             | 915              | 16,2                 | 107,9              | 32,8      |      | 2,07            | 2,24               | 0,77      |                | 2,60          | 2,95               | 1,13      |                | 756        |
|  | VI      | 5              | Ro nedsat Resp.  | 12,0                 | 61,0               |           |      | 1,66            | 1,01               |           |                | 2,14          | 1,38               |           |                | 733        |
|  | VII     | 10             | Ro efter Metron. | 12,3                 | 72,2               |           |      | 1,86            | 1,34               |           |                | 2,25          | 1,68               |           |                | 0,789      |
| L. 10.<br>$\frac{1}{2}$ 18<br>756 mm<br>19° C. | I       | 10             | Ro               | 16,7                 | 108,6              |           |      | 2,10            | 2,28               |           |                | 2,43          | 2,73               |           |                | 0,834      |
|  | II      | 5              | 1,5 St.          | 17,4                 | 125,1              | 17,7      | 17,3 | 2,13            | 2,67               | 0,42      | 0,426<br>0,447 | 2,44          | 3,15               | 0,45      | 0,384<br>0,439 | 845        |
|  | III     | 10             | 3,0 —            | 16,5                 | 119,4              | 15,4      |      | 2,16            | 2,58               | 0,42      |                | 2,38          | 2,91               | 0,29      |                | 887        |
|  | IV      | 10             | 2,7 —            | 15,7                 | 116,9              | 17,6      |      | 2,14            | 2,50               | 0,46      |                | 2,42          | 2,91               | 0,40      |                | 859        |
|  | V       | 10             | 3,0 —            | 15,2                 | 109,0              | 14,3      |      | 2,13            | 2,32               | 0,40      |                | 2,50          | 2,83               | 0,43      |                | 821        |
|  | VI      | 10             | 2,8 —            | 15,6                 | 111,8              | 21,8      |      | 2,08            | 2,32               | 0,52      |                | 2,50          | 2,92               | 0,63      |                | 796        |
|  | VII     | 5              | Ro               | 14,8                 | 88,3               |           |      | 1,97            | 1,74               |           |                | 2,34          | 2,15               |           |                | 808        |
|  | VIII    | 10             | Ro               | 15,7                 | 85,5               |           |      | 1,96            | 1,68               |           |                | 2,43          | 2,18               |           |                | 0,768      |
| L. 11.<br>$\frac{1}{2}$ 18<br>780 mm<br>20° C. | I       | 10             | Ro               | 15,3                 | 100,2              |           |      | 2,38            | 2,39               |           |                | 2,68          | 2,77               |           |                | 0,863      |
|  | II      | 5              | Læsning          | 16,2                 | 109,3              | 10,1      | 7,6  | 2,30            | 2,51               | 0,16      | 0,220          | 2,54          | 2,83               | 0,10      | 0,129          | 888        |
|  | III     | 10             | af               | 17,5                 | 103,2              | 7,2       |      | 2,36            | 2,44               | 0,21      |                | 2,59          | 2,73               | 0,12      |                | 891        |
|  | IV      | 10             | spændende        | 16,9                 | 100,7              | 8,8       |      | 2,32            | 2,34               | 0,28      |                | 2,52          | 2,59               | 0,14      |                | 902        |
|  | V       | 10             | Roman            | 17,2                 | 93,2               | 5,5       |      | 2,25            | 2,10               | 0,20      |                | 2,54          | 2,44               | 0,14      |                | 860        |
|  | VI      | 5              | Ro               | 15,0                 | 83,0               |           |      | 2,12            | 1,76               |           |                | 2,34          | 1,99               |           |                | 884        |
|  | VII     | 10             | Ro               | 16,2                 | 83,6               |           |      | 2,08            | 1,74               |           |                | 2,46          | 2,14               |           |                | 0,813      |
| L. 12.<br>$\frac{1}{2}$ 18<br>753 mm<br>19° C. | I       | 10             | Ro               | 15,7                 | 119,0              |           |      | 2,41            | 2,87               |           |                | 2,73          | 3,35               |           |                | 0,857      |
|  | II      | 15             | 10,5 St.         | 16,6                 | 134,0              | 18,9      | 10,7 | 2,30            | 3,08               | 0,32      | 0,253<br>0,264 | 2,60          | 3,42               | 0,17      | 0,140<br>0,170 | 901        |
|  | III     | 15             | 10,0 —           | 15,2                 | 115,2              | 7,9       |      | 2,36            | 2,72               | 0,18      |                | 2,67          | 3,17               | 0,11      |                | 858        |
|  | IV      | 15             | 11,0 —           | 13,3                 | 106,6              | 7,1       |      | 2,12            | 2,58               | 0,26      |                | 2,74          | 3,01               | 0,14      |                | 858        |
|  | V       | 15             | 10,0 —           | 14,1                 | 101,0              | 9,3       |      | 2,33            | 2,35               | 0,25      |                | 2,70          | 2,82               | 0,14      |                | 834        |
|  | VI      | 15             | 10,5 —           | 12,7                 | 94,1               | 10,2      |      | 2,43            | 2,29               | 0,31      |                | 2,85          | 2,78               | 0,29      |                | 821        |
|  | VII     | 5              | Ro               | 14,2                 | 86,3               |           |      | 2,23            | 1,92               |           |                | 2,70          | 2,44               |           |                | 789        |
|  | VIII    | 10             | Ro               | 16,6                 | 77,1               |           |      | 2,20            | 1,70               |           |                | 2,85          | 2,33               |           |                | 0,728      |
| L. 13.<br>$\frac{1}{2}$ 18<br>758 mm<br>17° C. | I       | 10             | Ro               | 18,0                 | 115,1              |           |      | 2,07            | 2,38               |           |                | 2,32          | 2,74               |           |                | 0,867      |
|  | II      | 15             | 12,5 St.         | 17,8                 | 128,2              | 8,8       | 8,1  | 2,07            | 2,65               | 0,42      | 0,357<br>0,156 | 2,13          | 2,76               | 0,14      | 0,193<br>0,284 | 963        |
|  | III     | 15             | 13,0 —           | 17,2                 | 101,2              | 3,2       |      | 2,09            | 2,12               | 0,18      |                | 2,37          | 2,47               | 0,08      |                | 855        |
|  | IV      | 15             | 10,0 —           | 13,9                 | 97,5               | 11,0      |      | 2,17            | 2,12               | 0,47      |                | 2,50          | 2,52               | 0,36      |                | 840        |
|  | V       | 15             | 11,5 —           | 12,4                 | 89,6               | 8,8       |      | 2,36            | 2,11               | 0,61      |                | 2,66          | 2,45               | 0,40      |                | 861        |
|  | VI      | 15             | 12,0 —           | 11,6                 | 89,6               | 8,8       |      | 2,34            | 2,10               | 0,60      |                | 2,69          | 2,49               | 0,44      |                | 841        |
|  | VII     | 5              | Ro               | 16,2                 | 72,3               |           |      | 1,76            | 1,27               |           |                | 2,15          | 1,63               |           |                | 781        |
|  | VIII    | 10             | Ro**             | 17,9                 | 80,8               |           |      | 1,86            | 1,50               |           |                | 2,40          | 2,05               |           |                | 0,732      |

| Lebe-<br>Nr.                          | Periode | Varigh. i Min. | Arbejde   | Respiration<br>pr. Min. | Aandefang          |               |       | udaandet CO <sub>2</sub> |                    |               | optaget O <sub>2</sub> |      |                    | Resp.kvot. |               |       |
|---------------------------------------|---------|----------------|---|-------------------------|--------------------|---------------|-------|--------------------------|--------------------|---------------|------------------------|------|--------------------|------------|---------------|-------|
|                                       |         |                |   |                         | cm <sup>3</sup> /s | Over-<br>skud | M.    | %                        | cm <sup>3</sup> /s | Over-<br>skud | M.                     | %    | cm <sup>3</sup> /s |            | Over-<br>skud | M.    |
| L. 14.<br>5/3 18<br>774 mm<br>19° C.  | I       | 10             | Ro  | 18,5                    | 135,0              |               |       | 2,21                     | 2,98               |               |                        | 2,43 | 3,36               |            |               | 0,889 |
|                                       | II      | 5              | Aandefang for-<br>mindsket; Muskel-<br>tonus uforandret | 11,6                    | 106,7              | -28,6         |       | 2,38                     | 2,54               | -0,43         |                        | 2,78 | 3,07               | -0,31      |               | 826   |
|                                       | III     | 5              |   | 9,6                     | 105,2              | -30,8         | -30,9 | 2,60                     | 2,74               | -0,22         | -0,270                 | 2,78 | 2,97               | -0,47      | -0,377        | 920   |
|                                       | IV      | 5              |   | 8,0                     | 103,4              | -33,3         |       | 2,69                     | 2,78               | -0,16         |                        | 2,95 | 3,12               | -0,35      |               | 0,891 |
|                                       | V       | 5              | Ro  | 16,0                    | 162,8              |               |       | 2,21                     | 3,60               |               | +0,67                  | 2,12 | 3,41               |            |               | 1,054 |
|                                       | VI      | 10             | Ro  | 18,1                    | 137,7              |               |       | 2,12                     | 2,92               |               |                        | 2,48 | 3,54               |            |               | 0,824 |
| L. 16.<br>5/3 18<br>775 mm<br>18° C.  | I       | 10             | Ro  | 16,8                    | 104,3              |               |       | 2,04                     | 2,13               |               |                        | 2,47 | 2,70               |            |               | 0,789 |
|                                       | II      | 5              | 3,5 St.   | 17,2                    | 123,0              | 18,8          |       | 2,00                     | 2,46               | 0,33          |                        | 2,21 | 2,79               | 0,09       |               | 883   |
|                                       | III     | 10             | 9,0 —   | 17,2                    | 118,3              | 14,2          |       | 2,11                     | 2,50               | 0,38          |                        | 2,35 | 2,86               | 0,15       |               | 875   |
|                                       | IV      | 10             | 8,0 —   | 16,2                    | 124,0              | 19,1          | 16,4  | 1,99                     | 2,47               | 0,26          | 0,324                  | 2,23 | 2,85               | 0,13       | 0,127         | 867   |
|                                       | V       | 10             | 7,5 —   | 17,4                    | 118,8              | 14,8          |       | 1,97                     | 2,34               | 0,23          |                        | 2,31 | 2,85               | 0,12       |               | 821   |
|                                       | VI      | 5              | Multiplik.<br>af 2 3-cif.<br>Tal<br>Ops. set            | 17,2                    | 96,2               |               |       | 1,76                     | 1,69               |               |                        | 2,31 | 2,36               |            |               | 717   |
|                                       | VII     | 10             |   | Ro                      | 17,3               | 104,0         |       |                          | 2,02               | 2,10          |                        |      | 2,51               | 2,74       |               |       |
| L. 17.<br>27/3 18<br>767 mm<br>18° C. | I       | 10             | Ro  | 19,4                    | 111,0              |               |       | 1,89                     | 2,10               |               |                        | 2,17 | 2,49               |            |               | 0,842 |
|                                       | II      | 15             | Læsning<br>af<br>bekendt<br>Roman                       | 18,5                    | 103,4              | -6,0          |       | 1,64                     | 1,70               | -0,40         |                        | 1,89 | 2,02               | -0,49      |               | 839   |
|                                       | III     | 15             |   | 16,9                    | 98,5               | -9,7          | 5,9   | 2,02                     | 1,99               | -0,12         | -0,090                 | 2,24 | 2,26               | -0,28      | -0,218        | 879   |
|                                       | IV      | 15             |   | 16,9                    | 99,9               | -7,1          |       | 2,02                     | 2,02               | -0,10         |                        | 2,29 | 2,36               | -0,22      |               | 855   |
|                                       | V       | 15             | 17,5  | 105,2                   | -0,6               |               | 2,27  | 2,39                     | +0,26              |               | 2,53                   | 2,73 | +0,12              |            | 873           |       |
|                                       | VI      | 5              | Ro  | 17,4                    | 105,7              |               |       | 1,93                     | 2,04               |               |                        | 2,24 | 2,45               |            |               | 832   |
|                                       | VII     | 10             | Ro  | 18,5                    | 105,8              |               |       | 2,02                     | 2,14               |               |                        | 2,40 | 2,64               |            |               | 0,808 |
| L. 18.<br>27/3 18<br>161 mm<br>16° C. | I       | 10             | Ro  | 18,2                    | 116,2              |               |       | 2,25                     | 2,61               |               |                        | 2,47 | 2,94               |            |               | 0,890 |
|                                       | II      | 15             | Læsning<br>af<br>bekendt<br>Roman                       | 17,4                    | 110,0              | -4,9          |       | 2,28                     | 2,51               | -0,05         |                        | 2,49 | 2,80               | -0,09      |               | 896   |
|                                       | III     | 15             |   | 17,1                    | 109,9              | -2,3          | -2,1  | 2,44                     | 2,68               | 0,21          | 0,115                  | 2,61 | 2,92               | 0,13       | 0,090         | 919   |
|                                       | IV      | 15             |   | 17,5                    | 107,8              | -1,8          |       | 2,27                     | 2,45               | 0,08          |                        | 2,52 | 2,79               | 0,11       |               | 878   |
|                                       | V       | 15             | 17,9  | 107,7                   | +0,7               |               | 2,31  | 2,49                     | 0,22               |               | 2,53                   | 2,79 | 0,21               |            | 893           |       |
|                                       | VI      | 5              | Ro  | 17,8                    | 104,6              |               |       | 2,04                     | 2,13               |               |                        | 2,29 | 2,47               |            |               | 866   |
|                                       | VII     | 10             | Ro  | 18,2                    | 104,7              |               |       | 2,09                     | 2,19               |               |                        | 2,32 | 2,49               |            |               | 0,878 |
| L. 19.<br>27/4 18<br>760 mm<br>21° C. | I       | 10             | Ro  | 21,6                    | 109,0              |               |       | 1,83                     | 2,00               |               |                        | 2,11 | 2,38               |            |               | 0,837 |
|                                       | II      | 10             | 3 Times<br>after sidste<br>Maaltid                      | 20,8                    | 109,7              |               |       | 1,70                     | 1,86               |               |                        | 1,93 | 2,18               |            |               | 854   |
|                                       | III     | 10             |   | 20,0                    | 108,8              |               |       | 1,86                     | 2,02               |               |                        | 2,12 | 2,38               |            |               | 849   |
|                                       | IV      | 10             |   | 18,6                    | 103,9              |               |       | 1,82                     | 1,89               |               |                        | 2,06 | 2,20               |            |               | 0,858 |
| L. 20.<br>27/4 18<br>758 mm<br>18° C. | I       | 10             | Ro  | 18,6                    | 113,8              |               |       | 2,30                     | 2,62               |               |                        | 2,56 | 2,99               |            |               | 0,876 |
|                                       | II      | 10             | 1 Time<br>after sidste<br>Maaltid                       | 17,5                    | 114,7              |               |       | 2,21                     | 2,53               |               |                        | 2,40 | 2,81               |            |               | 902   |
|                                       | III     | 10             |   | 17,1                    | 110,8              |               |       | 2,38                     | 2,61               |               |                        | 2,65 | 3,02               |            |               | 875   |
|                                       | IV      | 10             |   | 16,7                    | 106,5              |               |       | 2,38                     | 2,53               |               |                        | 2,68 | 2,93               |            |               | 0,863 |

Tab. 6.

| Løbe-<br>Nr.                                     | Periode | Varigh. i Min. | Arbejde         | Respiration<br>pr. Min. | Aandefang          |               |      | udaandet $CO_2$ |                    |               |       | optaget $O_2$ |                    |               |       | Resp.kvol. |
|--|---------|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------|------|-----------------|--------------------|---------------|-------|---------------|--------------------|---------------|-------|------------|
|  |         |                |                 |                         | cm <sup>3</sup> /s | Over-<br>skud | M.   | %               | cm <sup>3</sup> /s | Over-<br>skud | M.    | %             | cm <sup>3</sup> /s | Over-<br>skud | M.    |            |
| N. 1.<br>5 <sub>10</sub> 17<br>767 mm<br>19° C.  | I       | 10             | Ro              | 8,8                     | 120,1              |               |      | 3,17            | 3,81               |               |       | 3,60          | 4,46               |               |       | 0,854      |
|  | II      | 5              | 359 e'er optalt | 10,4                    | 140,1              | 20,3          |      | 3,07            | 4,30               | 0,51          |       | 3,40          | 4,88               | 0,41          |       | 880        |
|  | III     | 10             | 758 — —         | 12,1                    | 138,2              | 19,3          | 15,5 | 2,89            | 3,99               | 0,25          | 0,150 | 3,38          | 4,85               | 0,37          | 0,216 | 823        |
|  | IV      | 10             | 638 — —         | 11,9                    | 128,8              | 11,1          |      | 2,85            | 3,67               | 0,00          |       | 3,44          | 4,64               | 0,14          |       | 790        |
|  | V       | 10             | 636 — —         | 12,8                    | 130,2              | 13,7          |      | 2,78            | 3,62               | 0,02          |       | 3,34          | 4,56               | 0,04          |       | 795        |
|  | VI      | 5              | Ro              | 7,6                     | 105,0              |               |      | 3,18            | 3,34               |               |       | 3,98          | 4,41               |               |       | 758        |
|  | VII     | 10             | Ro              | 8,4                     | 115,2              |               |      | 3,07            | 3,53               |               |       | 3,75          | 4,53               |               |       | 0,780      |
| N. 2.<br>14 <sub>10</sub> 17<br>754 mm<br>18° C. | I       | 10             | Ro              | 8,4                     | 111,5              |               |      | 3,29            | 3,67               |               |       | 3,77          | 4,35               |               |       | 0,844      |
|  | II      | 5              | 380 e'er optalt | 7,8                     | 112,8              | 1,9           |      | 3,53            | 3,98               | 0,33          |       | 4,15          | 4,87               | 0,52          |       | 818        |
|  | III     | 10             | 749 — —         | 8,4                     | 114,4              | 5,2           | 6,1  | 3,45            | 3,95               | 0,34          | 0,266 | 4,03          | 4,80               | 0,46          | 0,309 | 823        |
|  | IV      | 10             | 790 — —         | 9,2                     | 114,2              | 7,3           |      | 3,30            | 3,77               | 0,22          |       | 3,63          | 4,25               | — 0,07        |       | 887        |
|  | V       | 10             | 766 — —         | 9,0                     | 111,8              | 7,2           |      | 3,33            | 3,72               | 0,23          |       | 4,00          | 4,68               | 0,37          |       | 796        |
|  | VI      | 10             | 754 — —         | 8,8                     | 109,0              | 6,7           |      | 3,37            | 3,67               | 0,24          |       | 4,08          | 4,66               | 0,37          |       | 788        |
|  | VII     | 5              | Ro              | 7,8                     | 100,6              |               |      | 3,33            | 3,35               |               |       | 4,25          | 4,52               | 0,24          |       | 741        |
|  | VIII    | 10             | Ro              | 7,7                     | 100,0              |               |      | 3,37            | 3,37               |               |       | 4,09          | 4,28               |               |       | 0,788      |
| N. 3.<br>21 <sub>10</sub> 17<br>754 mm<br>16° C. | I       | 10             | Ro              | 7,1                     | 112,0              |               |      | 3,36            | 3,76               |               |       | 4,07          | 4,78               |               |       | 0,788      |
|  | II      | 5              | 400 Additioner  | 10,8                    | 145,7              | 34,7          | 28,9 | 3,08            | 4,49               | 0,75          | 0,396 | 3,67          | 5,58               | 0,82          | 0,617 | 805        |
|  | III     | 10             | 720 —           | 11,8                    | 138,4              | 30,3          |      | 2,98            | 4,12               | 0,44          |       | 3,69          | 5,38               | 0,68          |       | 768        |
|  | IV      | 10             | 725 —           | 11,1                    | 128,5              | 24,3          |      | 3,04            | 3,91               | 0,27          |       | 3,86          | 5,24               | 0,62          |       | 745        |
|  | V       | 10             | 690 —           | 11,3                    | 129,7              | 29,3          |      | 2,95            | 3,82               | 0,30          |       | 3,66          | 4,99               | 0,45          |       | 766        |
|  | VI      | 5              | Ro              | 5,8                     | 94,6               |               |      | 3,55            | 3,36               |               |       | 4,58          | 4,59               |               |       | 732        |
|  | VII     | 10             | Ro              | 5,8                     | 96,5               |               |      | 3,57            | 3,45               |               |       | 4,41          | 4,47               |               |       | 0,771      |
| N. 4.<br>21 <sub>10</sub> 17<br>763 mm<br>15° C. | I       | 10             | Ro              | 6,0                     | 120,4              |               |      | 3,80            | 4,58               |               |       | 4,09          | 5,02               |               |       | 0,913      |
|  | II      | 5              | 440 Additioner  | 10,6                    | 152,2              | 32,6          | 33,6 | 3,19            | 4,85               | 0,31          | 0,257 | 3,45          | 5,35               | 0,36          | 0,349 | 907        |
|  | III     | 10             | 814 —           | 12,1                    | 153,9              | 36,9          |      | 3,13            | 4,82               | 0,41          |       | 3,41          | 5,37               | 0,47          |       | 898        |
|  | IV      | 10             | 805 —           | 12,4                    | 144,0              | 30,4          |      | 3,10            | 4,46               | 0,22          |       | 3,35          | 4,92               | 0,14          |       | 908        |
|  | V       | 10             | 786 —           | 12,4                    | 145,6              | 35,3          |      | 2,93            | 4,27               | 0,21          |       | 3,37          | 5,08               | 0,42          |       | 839        |
|  | VI      | 10             | 820 —           | 12,1                    | 139,2              | 32,3          |      | 2,92            | 4,07               | 0,16          |       | 3,39          | 4,90               | 0,36          |       | 833        |
|  | VII     | 5              | Ro              | 6,0                     | 107,0              |               |      | 3,53            | 3,78               |               |       | 3,95          | 4,34               |               |       | 870        |
|  | VIII    | 10             | Ro              | 5,6                     | 103,5              |               |      | 3,61            | 3,74               |               |       | 4,13          | 4,41               |               |       | 0,848      |
| N. 5.<br>28 <sub>10</sub> 17<br>765 mm<br>17° C. | I       | 10             | Ro              | 6,8                     | 123,1              |               |      | 3,77            | 4,59               |               |       | 4,13          | 5,20               |               |       | 0,893      |
|  | II      | 5              | 475 Additioner  | 10,0                    | 151,0              | 29,6          | 29,3 | 3,51            | 5,30               | 0,77          | 0,333 | 3,70          | 5,66               | 0,52          | 0,466 | 937        |
|  | III     | 10             | 748 —           | 11,2                    | 144,9              | 28,4          |      | 3,16            | 4,58               | 0,24          |       | 3,57          | 5,33               | 0,37          |       | 860        |
|  | IV      | 10             | 868 —           | 10,9                    | 138,6              | 28,7          |      | 3,19            | 4,42               | 0,33          |       | 3,65          | 5,23               | 0,50          |       | 845        |
|  | V       | 10             | 834 —           | 12,0                    | 134,0              | 30,7          |      | 3,02            | 4,05               | 0,21          |       | 3,57          | 4,98               | 0,50          |       | 813        |
|  | VI      | 5              | Ro              | 5,6                     | 95,3               |               |      | 3,69            | 3,52               |               |       | 4,41          | 4,40               |               |       | 801        |
|  | VII     | 10             | Ro              | 6,0                     | 96,7               |               |      | 3,71            | 3,59               |               |       | 4,26          | 4,26               |               |       | 0,842      |



| Løbe-Nr.                         | Periode | Varigh. i Min. | Arbejde        | Respiration pr. Min. | Aandefang          |           |      | udaandend $CO_2$ |                    |           |       | optaget $O_2$ |                    |           |       | Resp.kvot. |
|----------------------------------|---------|----------------|----------------|----------------------|--------------------|-----------|------|------------------|--------------------|-----------|-------|---------------|--------------------|-----------|-------|------------|
|                                  |         |                |                |                      | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.   | %                | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.    | %             | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.    |            |
| N. 6.<br>17<br>748 mm<br>15° C.  | I       | 10             | Ro             | 7,8                  | 117,4              |           |      | 3,51             | 4,12               |           |       | 3,86          | 4,64               |           |       | 0,889      |
|                                  | II      | 5              | 499 Additioner | 10,8                 | 144,0              | 27,6      |      | 3,23             | 4,65               | 0,57      |       | 3,64          | 5,39               | 0,76      |       | 862        |
|                                  | III     | 10             | 886            | 11,3                 | 142,0              | 28,4      | 20,5 | 3,21             | 4,56               | 0,60      | 0,633 | 3,63          | 5,30               | 0,68      | 0,749 | 860        |
|                                  | IV      | 10             | 930            | 10,6                 | 137,8              | 28,1      |      | 3,25             | 4,48               | 0,69      |       | 3,71          | 5,28               | 0,68      |       | 848        |
|                                  | V       | 10             | 906            | 11,5                 | 138,9              | 33,0      |      | 3,08             | 4,27               | 0,64      |       | 3,74          | 5,44               | 0,86      |       | 786        |
|                                  | VI      | 5              | Ro             | 6,6                  | 105,0              |           |      | 3,68             | 3,86               |           |       | 4,51          | 4,97               |           |       | 777        |
|                                  | VII     | 10             | Ro             | 7,4                  | 102,1              |           |      | 3,40             | 3,47               |           |       | 4,24          | 4,55               |           |       | 0,762      |
| N. 7.<br>17<br>743 mm<br>12° C.  | I       | 10             | Ro             | 8,5                  | 123,5              |           |      | 3,56             | 4,40               |           |       | 3,93          | 4,98               |           |       | 0,884      |
|                                  | II      | 5              | 506 Additioner | 10,6                 | 149,8              | 27,8      |      | 3,41             | 5,11               | 0,76      |       | 3,74          | 5,73               | 0,77      |       | 892        |
|                                  | III     | 10             | 954            | 11,6                 | 146,1              | 28,7      | 20,2 | 3,34             | 4,89               | 0,67      | 0,566 | 3,73          | 5,69               | 0,79      | 0,661 | 860        |
|                                  | IV      | 10             | 988            | 11,6                 | 138,2              | 26,4      |      | 3,25             | 4,49               | 0,46      |       | 3,77          | 5,40               | 0,57      |       | 831        |
|                                  | V       | 10             | 941            | 12,8                 | 139,2              | 33,2      |      | 3,10             | 4,32               | 0,47      |       | 3,67          | 5,32               | 0,57      |       | 811        |
|                                  | VI      | 5              | Ro             | 7,2                  | 101,8              |           |      | 3,55             | 3,61               |           |       | 4,29          | 4,58               |           |       | 790        |
|                                  | VII     | 10             | Ro             | 6,7                  | 100,2              |           |      | 3,65             | 3,66               |           |       | 4,45          | 4,68               |           |       | 0,782      |
| N. 8.<br>17<br>749 mm<br>17° C.  | I       | 10             | Ro             | 6,9                  | 110,0              |           |      | 3,70             | 4,07               |           |       | 4,28          | 4,88               |           |       | 0,834      |
|                                  | II      | 5              | 515 Additioner | 11,0                 | 148,8              | 39,8      |      | 3,28             | 4,88               | 0,85      |       | 3,51          | 5,23               | 0,50      |       | 917        |
|                                  | III     | 10             | 1005           | 11,7                 | 147,6              | 41,6      | 37,5 | 3,27             | 4,82               | 0,80      | 0,667 | 3,51          | 5,27               | 0,50      | 0,420 | 915        |
|                                  | IV      | 10             | 1030           | 11,5                 | 135,6              | 33,6      |      | 3,21             | 4,35               | 0,58      |       | 3,53          | 4,90               | 0,25      |       | 889        |
|                                  | V       | 10             | 995            | 11,6                 | 134,2              | 36,2      |      | 3,10             | 4,16               | 0,53      |       | 3,60          | 5,01               | 0,47      |       | 831        |
|                                  | VI      | 5              | Ro             | 6,2                  | 93,6               |           |      | 3,70             | 3,46               |           |       | 4,43          | 4,33               |           |       | 800        |
|                                  | VII     | 10             | Ro             | 6,2                  | 94,2               |           |      | 3,69             | 3,48               |           |       | 4,48          | 4,43               |           |       | 0,786      |
| N. 9.<br>17<br>759 mm<br>17° C.  | I       | 10             | Ro             | 7,2                  | 117,3              |           |      | 3,86             | 4,53               |           |       | 4,44          | 5,38               |           |       | 0,841      |
|                                  | II      | 5              | Ro             | 12,4                 | 139,9              | 22,1      |      | 3,26             | 4,56               | 0,06      |       | 3,72          | 5,38               | 0,05      |       | 849        |
|                                  | III     | 10             | 12 Aandedr.    | 12,2                 | 139,5              | 23,1      | 21,7 | 3,25             | 4,53               | 0,12      | 0,091 | 3,60          | 5,15               | — 0,01    | 0,081 | 880        |
|                                  | IV      | 10             | 12 —           | 12,1                 | 136,6              | 21,1      |      | 3,21             | 4,43               | 0,14      |       | 3,60          | 5,05               | 0,10      |       | 877        |
|                                  | V       | 10             | 12 —           | 12,2                 | 135,2              | 20,7      |      | 3,10             | 4,20               | 0,03      |       | 3,51          | 4,90               | 0,17      |       | 857        |
|                                  | VI      | 5              | 12 —           | 8,0                  | 111,0              |           |      | 3,51             | 3,90               |           |       | 4,04          | 4,64               |           |       | 839        |
|                                  | VII     | 10             | Ro             | 7,8                  | 113,6              |           |      | 3,56             | 4,05               |           |       | 3,89          | 4,52               |           |       | 0,896      |
| N. 11.<br>17<br>769 mm<br>15° C. | I       | 10             | Ro             | 8,7                  | 116,6              |           |      | 3,25             | 3,79               |           |       | 3,60          | 4,31               |           |       | 0,880      |
|                                  | II      | 5              | 528 Additioner | 13,2                 | 152,3              | 36,0      |      | 2,96             | 4,51               | 0,71      |       | 3,12          | 4,82               | 0,50      |       | 935        |
|                                  | III     | 10             | 1035           | 12,7                 | 149,0              | 33,7      | 37,1 | 3,10             | 4,62               | 0,79      | 0,903 | 3,20          | 4,80               | 0,44      |       | 963        |
|                                  | IV      | 10             | 1056           | 12,7                 | 162,2              | 48,2      |      | 3,13             | 5,08               | 1,21      |       | 3,27          | 5,36               | 0,95      | 0,762 | 947        |
|                                  | V       | 10             | 1038           | 11,9                 | 148,8              | 36,0      |      | 3,26             | 4,85               | 0,94      |       | 3,54          | 5,38               | 0,92      |       | 902        |
|                                  | VI      | 10             | 1044           | 12,2                 | 144,0              | 32,5      |      | 3,28             | 4,72               | 0,77      |       | 3,64          | 5,38               | 0,87      |       | 878        |
|                                  | VII     | 5              | Ro             | 8,2                  | 112,2              |           |      | 3,59             | 4,03               |           |       | 4,08          | 4,70               |           |       | 853        |
|                                  | VIII    | 10             | Ro             | 7,0                  | 110,2              |           |      | 3,62             | 3,99               |           |       | 4,03          | 4,56               |           |       | 0,874      |

| Løbe-Nr.                               | Periode | Varigh. i Min. | Arbejde    | Respiration pr. Min. | Aandefang          |           |      | udaand $CO_2$ |                    |           | optaget $O_2$ |                    |           | Resp.kvot. |       |       |
|--|---------|----------------|------------|----------------------|--------------------|-----------|------|---------------|--------------------|-----------|---------------|--------------------|-----------|------------|-------|-------|
|  |         |                |            |                      | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.   | %             | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.            | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud |            | M.    |       |
| N. 12.<br>29/11 17<br>765 mm<br>17° C. | I       | 10             | Ro         | 7,5                  | 120,7              |           |      | 3,53          | 4,26               |           |               | 3,87               | 4,78      |            |       | 0,891 |
|  | II      | 5              | 22 Genles. | 12,0                 | 153,5              | 33,7      |      | 3,14          | 4,82               | 0,59      |               | 3,35               | 5,23      | 0,49       |       | 922   |
|  | III     | 10             | —          | 10,8                 | 140,8              | 23,6      | 21,2 | 3,27          | 4,61               | 0,17      | 0,117         | 3,59               | 5,18      | 0,56       | 0,527 | 890   |
|  | IV      | 10             | —          | 10,1                 | 131,4              | 20,7      |      | 3,30          | 4,44               | 0,42      |               | 3,61               | 4,97      | 0,51       |       | 893   |
|  | V       | 10             | —          | 10,7                 | 131,0              | 23,7      |      | 3,19          | 4,28               | 0,38      |               | 3,51               | 4,83      | 0,53       |       | 886   |
|  | VI      | 5              | Ro         | 7,0                  | 114,5              |           |      | 3,19          | 4,00               |           |               | 3,81               | 4,50      |            |       | 889   |
|  | VII     | 10             | Ro         | 6,9                  | 106,8              |           |      | 3,53          | 3,77               |           |               | 3,88               | 4,25      |            |       | 0,889 |
| N. 13.<br>29/11 17<br>761 mm<br>16° C. | I       | 10             | Ro         | 8,0                  | 117,7              |           |      | 3,14          | 4,05               |           |               | 3,82               | 4,62      |            |       | 0,877 |
|  | II      | 5              | 15 Genles. | 10,8                 | 144,0              | 27,2      |      | 3,28          | 4,72               | 0,60      |               | 3,57               | 5,20      | 0,66       |       | 899   |
|  | III     | 10             | —          | 10,1                 | 136,3              | 22,2      | 22,5 | 3,29          | 4,48               | 0,56      | 0,500         | 3,65               | 5,10      | 0,56       | 0,511 | 879   |
|  | IV      | 10             | —          | 10,7                 | 131,1              | 20,9      |      | 3,17          | 4,17               | 0,38      |               | 3,61               | 4,90      | 0,44       |       | 851   |
|  | V       | 10             | —          | 10,5                 | 130,0              | 23,1      |      | 3,21          | 4,18               | 0,51      |               | 3,63               | 4,85      | 0,47       |       | 861   |
|  | VI      | 5              | Ro         | 7,0                  | 101,2              |           |      | 3,13          | 3,47               |           |               | 4,01               | 4,23      |            |       | 821   |
|  | VII     | 10             | Ro         | 7,0                  | 103,7              |           |      | 3,11          | 3,54               |           |               | 4,00               | 4,31      |            |       | 0,820 |
| N. 14.<br>29/11 17<br>767 mm<br>16° C. | I       | 10             | Ro         | 8,0                  | 127,2              |           |      | 3,60          | 4,58               |           |               | 3,98               | 5,19      |            |       | 0,883 |
|  | II      | 5              | 15 Genles. | 11,6                 | 157,3              | 30,9      |      | 3,30          | 5,19               | 0,64      |               | 3,60               | 5,79      | 0,64       |       | 896   |
|  | III     | 10             | —          | 11,3                 | 153,1              | 29,4      | 26,5 | 3,42          | 5,25               | 0,78      | 0,617         | 3,60               | 5,00      | 0,55       | 0,520 | 937   |
|  | IV      | 10             | —          | 11,1                 | 146,6              | 25,8      |      | 3,31          | 4,90               | 0,51      |               | 3,59               | 5,36      | 0,46       |       | 911   |
|  | V       | 10             | —          | 11,1                 | 144,7              | 27,1      |      | 3,42          | 4,80               | 0,52      |               | 3,56               | 5,25      | 0,49       |       | 916   |
|  | VI      | 5              | Ro*        | 7,0                  | 115,4              |           |      | 3,61          | 4,20               |           |               | 3,97               | 4,69      |            |       | 897   |
|  | VII     | 10             | Ro         | 7,0                  | 111,6              |           |      | 3,67          | 4,10               |           |               | 4,16               | 4,79      |            |       | 0,855 |
| N. 15.<br>29/11 17<br>757 mm<br>18° C. | I       | 10             | Ro         | 6,3                  | 119,4              |           |      | 3,83          | 4,57               |           |               | 4,11               | 5,00      |            |       | 0,915 |
|  | II      | 5              | 12 Genles. | 10,8                 | 159,3              | 10,3      |      | 3,34          | 5,32               | 0,78      |               | 3,54               | 5,73      | 0,71       |       | 929   |
|  | III     | 10             | —          | 9,8                  | 146,3              | 28,5      | 28,6 | 3,18          | 5,09               | 0,66      | 0,619         | 3,71               | 5,53      | 0,58       | 0,577 | 922   |
|  | IV      | 10             | —          | 9,8                  | 143,1              | 26,9      |      | 3,16          | 4,95               | 0,65      |               | 3,75               | 5,48      | 0,58       |       | 901   |
|  | V       | 10             | —          | 9,7                  | 138,3              | 23,7      |      | 3,12          | 4,73               | 0,57      |               | 3,77               | 5,31      | 0,49       |       | 886   |
|  | VI      | 5              | Ro         | 7,0                  | 111,6              |           |      | 3,59          | 4,01               |           |               | 4,03               | 4,63      |            |       | 866   |
|  | VII     | 10             | Ro         | 6,9                  | 112,9              |           |      | 3,56          | 4,02               |           |               | 4,10               | 4,80      |            |       | 0,868 |
| N. 16.<br>29/11 17<br>755 mm<br>17° C. | I       | 10             | Ro         | 6,7                  | 121,8              |           |      | 3,77          | 4,59               |           |               | 4,12               | 5,13      |            |       | 0,895 |
|  | II      | 5              | 17 Genles. | 9,1                  | 146,5              | 25,2      |      | 3,53          | 5,18               | 0,61      |               | 3,81               | 5,70      | 0,59       |       | 909   |
|  | III     | 10             | —          | 9,5                  | 140,2              | 20,1      | 22,0 | 3,51          | 4,92               | 0,40      | 0,161         | 3,88               | 5,57      | 0,51       | 0,481 | 883   |
|  | IV      | 10             | —          | 9,5                  | 139,8              | 21,9      |      | 3,55          | 4,97               | 0,52      |               | 3,88               | 5,55      | 0,56       |       | 895   |
|  | V       | 10             | —          | 10,2                 | 138,1              | 22,2      |      | 3,46          | 4,78               | 0,39      |               | 3,73               | 5,25      | 0,32       |       | 910   |
|  | VI      | 5              | Ro         | 6,2                  | 117,3              |           |      | 3,73          | 4,38               |           |               | 4,00               | 4,78      |            |       | 916   |
|  | VII     | 10             | Ro         | 6,2                  | 111,0              |           |      | 3,79          | 4,32               |           |               | 4,16               | 4,86      |            |       | 0,890 |

Tab. 7.

| Løbe-<br>Nr.  | Periode | Varetaget<br>i Min. | Arbejde            | Respiration<br>pr. Min. | Aandefang         |               |      | udaand $CO_2$     |               |        | optaget $O_2$     |               |      | Resp.kvot. |       |     |
|---|---------|---------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|---------------|------|-------------------|---------------|--------|-------------------|---------------|------|------------|-------|-----|
|   |         |                     |                    |                         | cm <sup>3</sup> s | Over-<br>skud | M.   | cm <sup>3</sup> s | Over-<br>skud | M.     | cm <sup>3</sup> s | Over-<br>skud | M.   |            |       |     |
| P. 5.<br>1 <sup>1</sup> / <sub>5</sub> 17<br>770 mm<br>18° C. | I       | 8' 6"               | Ro                 | 16,2                    | 135,0             |               |      | 2,66              | 3,59          |        |                   | 3,12          | 4,38 |            | 0,820 |     |
|   | II      | 5' 36"              | 478 Add.=427 pr.5' | 18,9                    | 164,4             | 29,6          |      | 2,70              | 4,44          | 0,86   |                   | 2,79          | 4,62 | 0,24       | 960   |     |
|   | III     | 9' 16"              | 887 — = 179 —      | 17,6                    | 149,1             | 14,7          |      | 2,66              | 3,96          | 0,41   |                   | 2,97          | 4,55 | 0,19       | 871   |     |
|   | IV      | 10' 28"             | 957 — = 457 —      | 17,6                    | 148,3             | 15,1          | 14,1 | 2,66              | 3,94          | 0,43   | 0,457             | 3,03          | 4,64 | 0,29       | 0,244 | 850 |
|   | V       | 10' 46"             | 1018 — = 473 —     | 16,9                    | 144,2             | 11,9          |      | 2,72              | 3,92          | 0,45   |                   | 3,06          | 4,54 | 0,21       | 863   |     |
|   | VI      | 9' 14"              | 916 — = 496 —      | 16,2                    | 137,2             | 5,7           |      | 2,72              | 3,74          | 0,30   |                   | 3,22          | 4,61 | 0,29       | 811   |     |
|   | VII     | 5' 13"              | Ro                 | 14,8                    | 121,4             |               |      | 2,72              | 3,30          |        |                   | 3,22          | 4,07 |            | 811   |     |
|   | VIII    | 10' 10"             | Ro                 | 15,8                    | 130,6             |               |      | 2,60              | 3,40          |        |                   | 3,14          | 4,30 |            | 0,790 |     |
| P. 6.<br>1 <sup>1</sup> / <sub>5</sub> 17<br>773 mm<br>19° C. | I       | 10                  | Ro                 | 14,0                    | 132,5             |               |      | 2,81              | 3,72          |        |                   | 3,20          | 4,38 |            | 0,850 |     |
|   | II      | 5                   | 435 Additioner     | 15,6                    | 157,3             | 25,9          |      | 2,82              | 4,44          | 0,74   |                   | 3,00          | 4,80 | 0,45       | 925   |     |
|   | III     | 5                   | 477 —              | 14,8                    | 138,9             | 9,8           |      | 2,90              | 4,03          | 0,38   |                   | 3,18          | 4,62 | 0,24       | 891   |     |
|   | IV      | 5                   | 470 —              | 14,4                    | 133,5             | 6,7           |      | 2,94              | 3,92          | 0,31   |                   | 3,24          | 4,44 | 0,22       | 884   |     |
|   | V       | 5                   | 477 —              | 14,2                    | 129,7             | 5,2           |      | 3,00              | 3,89          | 0,33   |                   | 3,18          | 4,20 | 0,05       | 927   |     |
|   | VI      | 5                   | 477 —              | 14,4                    | 134,2             | 12,0          | 12,1 | 2,99              | 4,02          | 0,50   | 0,400             | 3,33          | 4,59 | 0,50       | 0,287 | 874 |
|   | VII     | 5                   | 464 —              | 14,8                    | 139,5             | 19,6          |      | 2,99              | 4,17          | 0,70   |                   | 3,15          | 4,47 | 0,45       | 934   |     |
|   | VIII    | 5                   | 507 —              | 14,4                    | 126,3             | 8,7           |      | 2,90              | 3,67          | 0,24   |                   | 3,22          | 4,18 | 0,22       | 877   |     |
|   | IX      | 5                   | 493 —              | 14,0                    | 126,3             | 11,0          |      | 2,79              | 3,53          | 0,15   |                   | 3,16          | 4,12 | 0,23       | 855   |     |
|   | X       | 5                   | 492 —              | 14,2                    | 122,8             | 9,8           |      | 2,92              | 3,59          | 0,25   |                   | 3,22          | 4,05 | 0,22       | 885   |     |
|   | XI      | 5                   | Ro                 | 12,2                    | 110,2             |               |      | 2,99              | 3,30          |        |                   | 3,36          | 3,81 |            | 865   |     |
|   | XII     | 10                  | Ro                 | 12,2                    | 109,6             |               |      | 2,98              | 3,27          |        |                   | 3,31          | 3,73 |            | 0,877 |     |
| P. 7.<br>1 <sup>1</sup> / <sub>5</sub> 17<br>768 mm<br>19° C. | I       | 10                  | Ro                 | 13,4                    | 125,2             |               |      | 2,93              | 3,67          |        |                   | 3,30          | 4,26 |            | 0,862 |     |
|   | II      | 5                   | 543 Additioner     | 17,6                    | 160,7             | 35,7          |      | 2,76              | 4,43          | 0,76   |                   | 2,88          | 4,68 | 0,42       | 947   |     |
|   | III     | 5                   | 559 —              | 16,4                    | 143,8             | 19,2          |      | 2,83              | 4,07          | 0,40   |                   | 3,10          | 4,57 | 0,31       | 892   |     |
|   | IV      | 5                   | 512 —              | 15,8                    | 139,5             | 15,3          |      | 2,86              | 3,99          | 0,32   |                   | 3,06          | 4,35 | 0,09       | 917   |     |
|   | V       | 5                   | 500 —              | 15,8                    | 139,0             | 15,2          |      | 2,91              | 4,05          | 0,38   |                   | 3,19          | 4,54 | 0,28       | 891   |     |
|   | VI      | 5                   | 486 —              | 16,0                    | 142,8             | 19,4          | 18,1 | 2,92              | 4,17          | 0,50   | 0,386             | 3,18          | 4,64 | 0,38       | 909   |     |
|   | VII     | 5                   | 472 —              | 16,0                    | 142,1             | 19,2          |      | 2,87              | 4,08          | 0,41   |                   | 3,11          | 4,50 | 0,24       | 905   |     |
|   | VIII    | 5                   | 472 —              | 15,4                    | 135,1             | 12,6          |      | 2,87              | 3,88          | 0,21   |                   | 3,15          | 4,36 | 0,10       | 890   |     |
|   | IX      | 5                   | 486 —              | 15,2                    | 131,5             | 9,4           |      | 2,90              | 3,81          | 0,14   |                   | 3,21          | 4,33 | 0,07       | 881   |     |
|   | X       | 5                   | 446 —              | 15,6                    | 138,3             | 16,6          |      | 2,91              | 4,02          | 0,35   |                   | 3,14          | 4,42 | 0,16       | 909   |     |
|   | XI      | 5                   | Ro                 | 13,4                    | 122,0             |               |      | 3,00              | 3,66          |        |                   | 3,37          | 4,23 |            | 865   |     |
|   | XII     | 10                  | Ro                 | 13,5                    | 121,1             |               |      | 3,03              | 3,67          |        |                   | 3,41          | 4,26 |            | 0,862 |     |
| P. 8.<br>1 <sup>1</sup> / <sub>5</sub> 17<br>775 mm<br>20° C. | I       | 10                  | Ro                 | 13,5                    | 120,8             |               |      | 2,77              | 3,35          |        |                   | 3,03          | 3,75 |            | 0,893 |     |
|   | II      | 5                   | 16 Aandedr.        | 15,4                    | 151,5             | 30,9          |      | 2,67              | 4,05          | 0,71   |                   | 2,68          | 4,07 | 0,32       | 995   |     |
|   | III     | 5                   | 16 —               | 15,8                    | 133,2             | 13,1          |      | 2,53              | 3,37          | 0,05   |                   | 3,65          | 3,57 | — 0,18     | 944   |     |
|   | IV      | 5                   | 16 —               | 15,8                    | 128,2             | 8,6           |      | 2,49              | 3,19          | — 0,11 |                   | 2,81          | 3,72 | — 0,03     | 860   |     |
|   | V       | 5                   | 16 —               | 15,6                    | 128,5             | 9,4           | 15,9 | 2,67              | 3,43          | 0,15   | 0,237             | 2,89          | 3,79 | 0,04       | 0,029 | 905 |
|   | VI      | 5                   | 16 —               | 16,0                    | 126,6             | 7,9           |      | 2,57              | 3,25          | — 0,02 |                   | 2,76          | 3,56 | — 0,18     | 914   |     |
|   | VII     | 5                   | 16 —               | 15,8                    | 137,6             | 19,4          |      | 2,63              | 3,62          | 0,37   |                   | 2,75          | 3,83 | 0,08       | 945   |     |
|   | VIII    | 5                   | 16 —               | 15,8                    | 139,5             | 21,7          |      | 2,68              | 3,74          | 0,51   |                   | 2,75          | 3,91 | 0,15       | 967   |     |
|   | IX      | 5                   | Ro                 | 13,8                    | 106,7             |               |      | 2,81              | 3,00          |        |                   | 3,27          | 3,62 |            | 829   |     |
|   | X       | 10                  | Ro                 | 13,7                    | 117,0             |               |      | 2,74              | 3,20          |        |                   | 3,11          | 3,76 |            | 0,853 |     |

| Løbe-Nr.  | Periode | Varighed i Min. | Arbejde  | Respiration pr. Min. | Aandefang          |           |      | udaandet CO <sub>2</sub> |                    |           | optaget O <sub>2</sub> |      |                    |           | Resp.kvot. |       |
|---|---------|-----------------|--|----------------------|--------------------|-----------|------|--------------------------|--------------------|-----------|------------------------|------|--------------------|-----------|------------|-------|
|   |         |                 |  |                      | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.   | %                        | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud | M.                     | %    | cm <sup>3</sup> /s | Over-skud |            | M.    |
| P. 9.<br>25 <sub>10</sub> 17<br>767 mm<br>20° C.  | I       | 10              | Ro   | 14,0                 | 119,4              |           |      | 2,89                     | 3,45               |           |                        | 3,16 | 3,86               |           |            | 0,895 |
|   | II      | 5               | 5 16-Stavelses<br>Ramser lært med<br>gennemsnitlig<br>22,6 Genlæs. | 28,0                 | 205,7              | 86,1      |      | 2,39                     | 4,92               | 1,45      |                        | 2,41 | 4,97               | 1,10      |            | 0,960 |
|   | III     | 5               |  | 26,6                 | 184,8              | 64,9      |      | 2,51                     | 4,64               | 1,14      |                        | 2,61 | 4,88               | 0,98      |            | 0,952 |
|   | IV      | 5               |  | 24,0                 | 164,0              | 43,7      |      | 2,67                     | 4,38               | 0,85      |                        | 2,79 | 4,62               | 0,69      |            | 0,948 |
|   | V       | 5               |  | 21,0                 | 154,5              | 33,8      | 49,0 | 2,71                     | 4,19               | 0,63      | 0,851                  | 2,85 | 4,47               | 0,52      | 0,636      | 0,938 |
|   | VI      | 5               |  | 28,0                 | 158,8              | 37,0      |      | 2,57                     | 4,08               | 0,48      |                        | 2,76 | 4,46               | 0,48      |            | 0,914 |
|   | VII     | 5               |  | 24,4                 | 163,7              | 42,3      |      | 2,68                     | 4,39               | 0,76      |                        | 2,79 | 4,61               | 0,60      |            | 0,951 |
|   | VIII    | 5               |  | 20,4                 | 156,7              | 35,0      |      | 2,75                     | 4,31               | 0,65      |                        | 2,85 | 4,51               | 0,48      |            | 0,956 |
|   | IX      | 5               |  | 13,8                 | 125,1              |           |      | 2,96                     | 3,71               |           |                        | 3,25 | 4,17               |           |            | 0,890 |
|   | X       | 10              |  | 14,2                 | 122,3              |           |      | 3,03                     | 3,71               |           |                        | 3,26 | 4,07               |           |            | 0,912 |
| P. 10.<br>17<br>769 mm<br>20° C.                  | I       | 10              |  | Ro                   | 16,2               | 137,5     |      |                          | 2,66               | 3,66      |                        |      | 3,01               | 4,27      |            |       |
|   | II      | 5               | Optælling af Bog-<br>staver  | 18,6                 | 147,7              | 10,7      |      | 2,53                     | 3,74               | 0,07      |                        | 2,83 | 4,30               | 0,04      |            | 0,869 |
|   | III     | 5               |  | 18,0                 | 148,8              | 12,8      |      | 2,63                     | 3,91               | 0,23      |                        | 2,85 | 4,33               | 0,08      |            | 0,904 |
|   | IV      | 5               |  | 17,2                 | 138,1              | 3,1       |      | 2,63                     | 3,63               | 0,07      |                        | 2,85 | 4,02               | 0,22      |            | 0,904 |
|   | V       | 5               |  | 16,4                 | 137,7              | 3,6       | 3,9  | 2,70                     | 3,72               | 0,00      | -0,016                 | 2,99 | 4,23               | 0,00      | -0,086     | 0,880 |
|   | VI      | 5               |  | 15,6                 | 128,5              | -4,6      |      | 2,76                     | 3,55               | -0,18     |                        | 3,02 | 3,97               | -0,25     |            | 0,893 |
|   | VII     | 5               |  | 15,4                 | 132,4              | 0,3       |      | 2,74                     | 3,63               | 0,12      |                        | 2,98 | 4,03               | 0,18      |            | 0,901 |
|   | VIII    | 5               |  | 15,4                 | 132,3              | 1,2       |      | 2,81                     | 3,72               | 0,04      |                        | 3,05 | 4,13               | 0,07      |            | 0,902 |
|   | IX      | 5               |  | 14,0                 | 126,2              |           |      | 2,97                     | 3,75               |           |                        | 3,22 | 4,15               |           |            | 0,903 |
|   | X       | 10              |  | 14,7                 | 129,7              |           |      | 2,92                     | 3,79               |           |                        | 3,16 | 4,19               |           |            | 0,905 |
| P. 11.<br>17<br>764 mm<br>20° C.                  | I       | 10              |  | Ro                   | 14,2               | 116,1     |      |                          | 2,58               | 3,00      |                        |      | 2,90               | 3,46      |            |       |
|   | II      | 5               | 21'er optalt   | 15,8                 | 136,0              | 19,9      |      | 2,51                     | 3,41               | 0,41      |                        | 2,73 | 3,79               | 0,33      |            | 0,901 |
|   | III     | 10              | 576  | 16,1                 | 125,0              | 9,1       | 10,1 | 2,46                     | 3,08               | 0,08      | 0,099                  | 2,83 | 3,70               | 0,25      | 0,164      | 0,892 |
|   | IV      | 10              | 581  | 15,4                 | 123,6              | 7,8       |      | 2,41                     | 3,02               | 0,02      |                        | 2,78 | 3,55               | 0,11      |            | 0,870 |
|   | V       | 10              | 565  | 16,0                 | 124,1              | 8,5       |      | 2,45                     | 3,04               | 0,04      |                        | 2,73 | 3,48               | 0,05      |            | 0,874 |
|   | VI      | 5               | Ro   | 13,6                 | 111,4              |           |      | 2,59                     | 2,96               |           |                        | 2,94 | 3,47               |           |            | 0,854 |
|   | VII     | 10              | Ro   | 13,9                 | 115,4              |           |      | 2,61                     | 3,01               |           |                        | 2,89 | 3,42               |           |            | 0,880 |
| P. 13.<br>17<br>758 mm<br>18° C.                  | I       | 10              | Ro   | 14,3                 | 84,1               |           |      | 2,42                     | 2,03               |           |                        | 2,75 | 2,34               |           |            | 0,805 |
|   | II      | 5               | 37 Genlæs.   | 21,0                 | 118,6              | 35,1      |      | 2,36                     | 2,80               | 0,78      |                        | 2,48 | 2,98               | 0,65      |            | 0,939 |
|   | III     | 10              | 75   | 19,9                 | 101,5              | 19,8      | 20,4 | 2,24                     | 2,27               | 0,29      | 0,300                  | 2,48 | 2,58               | 0,29      | 0,301      | 0,883 |
|   | IV      | 10              | 62   | 19,2                 | 95,7               | 16,1      |      | 2,17                     | 2,08               | 0,14      |                        | 2,39 | 2,34               | 0,10      |            | 0,886 |
|   | V       | 10              | 63   | 18,9                 | 94,6               | 17,7      |      | 2,26                     | 2,14               | 0,25      |                        | 2,58 | 2,52               | 0,34      |            | 0,848 |
|   | VI      | 5               | Ro   | 13,8                 | 75,3               |           |      | 2,22                     | 1,67               |           |                        | 2,49 | 1,93               |           |            | 0,867 |
|   | VII     | 10              | Ro   | 13,5                 | 74,6               |           |      | 2,47                     | 1,84               |           |                        | 2,78 | 2,13               |           |            | 0,862 |
| P. 15.<br>25 <sub>10</sub> 17<br>759 mm<br>17° C. | I       | 10              | Ro, vilk. Slappelse  | 12,3                 | 75,6               |           |      | 2,44                     | 1,85               |           |                        | 2,85 | 2,24               |           |            | 0,823 |
|   | II      | 5               | 20 Genlæs.   | 20,4                 | 120,2              | 44,7      |      | 2,61                     | 3,14               | 1,29      |                        | 2,53 | 3,03               | 0,80      |            | 1,037 |
|   | III     | 10              | 38   | 19,0                 | 108,5              | 33,4      | 35,0 | 2,52                     | 2,74               | 0,80      | 0,856                  | 2,69 | 2,96               | 0,75      | 0,740      | 0,925 |
|   | IV      | 10              | 39   | 20,5                 | 107,6              | 32,9      |      | 2,35                     | 2,53               | 0,70      |                        | 2,60 | 2,87               | 0,69      |            | 0,881 |
|   | V       | 10              | 37   | 21,1                 | 108,2              | 33,9      |      | 2,38                     | 2,58               | 0,75      |                        | 2,61 | 2,89               | 0,75      |            | 0,891 |
|   | VI      | 5               | Ro, Slappelse  | 11,8                 | 68,2               |           |      | 2,20                     | 1,50               |           |                        | 2,52 | 1,78               |           |            | 0,844 |
|   | VII     | 10              | Ro   | 14,5                 | 73,8               |           |      | 2,46                     | 1,82               |           |                        | 2,78 | 2,11               |           |            | 0,860 |
|   | VIII    | 5               | Hurtiglob*   | 15,2                 | 96,0               | 22,2      |      | 2,21                     | 2,12               | 0,30      |                        | 2,31 | 2,25               | 0,14      |            | 0,945 |

| Løbe-<br>Nr.                                    | Periode | Varighed<br>i Min. | Arbejde       | Respiration<br>pr. Min. | Aandefang          |               |      | udaandet CO <sub>2</sub> |                    |               | optaget O <sub>2</sub> |      |                    |               | Resp.kvot.     |       |
|---|---------|--------------------|---------------|-------------------------|--------------------|---------------|------|--------------------------|--------------------|---------------|------------------------|------|--------------------|---------------|----------------|-------|
|   |         |                    |               |                         | cm <sup>3</sup> /s | Over-<br>skud | M.   | %                        | cm <sup>3</sup> /s | Over-<br>skud | M.                     | %    | cm <sup>3</sup> /s | Over-<br>skud |                | M.    |
| P. 16.<br>$\frac{5}{4}$ 18<br>764 mm<br>19° C.  | I       | 10                 | Ro            | 13,2                    | 104,8              |               |      | 2,54                     | 2,66               |               |                        | 2,79 | 2,99               |               |                | 0,890 |
|   | II      | 15                 | 464, 481, 478 | 16,7                    | 144,3              | 39,5          |      | 2,80                     | 4,04               | 1,39          |                        | 2,86 | 4,16               | 1,19          |                | 972   |
|   | III     | 15                 | 513, 493, 483 | 16,3                    | 137,8              | 33,0          |      | 2,82                     | 3,89               | 1,26          |                        | 3,07 | 4,31               | 1,37          |                | 900   |
|   | IV      | 15                 | 477, 507, 489 | 15,9                    | 132,4              | 27,6          | 29,8 | 2,88                     | 3,81               | 1,20          | 1,214                  | 3,17 | 4,30               | 1,39          | 1,296          | 887   |
|   | V       | 15                 | 469, 464, 439 | 15,8                    | 131,9              | 27,1          |      | 2,90                     | 3,82               | 1,23          |                        | 3,17 | 4,27               | 1,39          |                | 895   |
|   | VI      | 15                 | 428, 474, 457 | 15,6                    | 126,7              | 21,9          |      | 2,81                     | 3,56               | 0,99          |                        | 3,08 | 3,99               | 1,14          |                | 893   |
|   | VII     | 5                  | Ro            | 12,8                    | 101,5              |               |      | 2,54                     | 2,58               |               |                        | 2,85 | 2,97               |               |                | 867   |
|   | VIII    | 10                 | Ro            | 13,6                    | 104,4              |               |      | 2,44                     | 2,55               |               |                        | 2,64 | 2,83               |               |                | 0,899 |
| P. 17.<br>$\frac{10}{4}$ 18<br>752 mm<br>18° C. | I       | 10                 | Ro            | 12,3                    | 124,5              |               |      | 3,16                     | 3,94               |               |                        | 3,42 | 4,35               |               |                | 0,906 |
|   | II      | 15                 | 7,3 Opg.      | 16,0                    | 142,2              | 22,5          |      | 3,02                     | 4,29               | 0,58          |                        | 3,04 | 4,33               | 0,14          |                | 992   |
|   | III     | 15                 | 6,4 —         | 14,9                    | 123,0              | 12,9          |      | 2,86                     | 3,52               | 0,27          | 0,383<br>0,126         | 3,30 | 4,21               | 0,34          | 0,258<br>0,338 | 896   |
|   | IV      | 15                 | 5,5 —         | 14,3                    | 117,0              | 11,8          | 12,1 | 2,92                     | 3,42               | 0,40          |                        | 3,33 | 4,03               | 0,30          |                | 819   |
|   | V       | 15                 | 5,2 —         | 14,0                    | 113,8              | 8,6           |      | 2,30                     | 3,30               | 0,28          |                        | 3,37 | 3,98               | 0,25          |                | 829   |
|   | VI      | 15                 | 5,6 —         | 13,8                    | 121,8              | 16,6          |      | 2,97                     | 3,62               | 0,60          |                        | 3,47 | 4,39               | 0,66          |                | 825   |
|   | VII     | 5                  | Ro            | 12,8                    | 105,2              |               |      | 2,87                     | 3,02               |               |                        | 3,40 | 3,73               |               |                | 810   |
|   | VIII    | 10                 | Ro**          | 12,5                    | 108,7              |               |      | 2,93                     | 3,18               |               |                        | 3,44 | 3,89               |               |                | 0,820 |



## RÉSUMÉ

By the investigations made by BECKER and OLSEN, ("Metabolism during Mental Work", Skandinavisches Archiv für Physiologie, vol. 31), there was shown a considerable increase of the  $CO_2$  eliminated during mental work; and it was pointed out that only part of this  $CO_2$  was likely to be attributable to a dilution of the  $CO_2$  stored in the organism. The two above-mentioned experimenters, however, did not succeed in deciding, how great a quantity might be attributed to the work done simultaneously. The present experiments were consequently made to have this question of doubt replied to, using practically the same apparatus and methods as the aforesaid authors. By these measurements were decided not only the  $CO_2$  eliminated, but also the  $O_2$  absorbed; and at the same time an attempt was made to measure, by means of control-experiments, how great a quantity of the increased metabolism might issue from the increased respiration, caused by the work. The purpose of this was if possible to decide to what extent the central nervous system was accountable for the changes of metabolism obtained. — However, this proved impossible as varying and often considerable changes of the muscular tone influenced the metabolism, and neither directly nor indirectly could be done away with. From these measurements appears as follows:

The same sort of work will involve approximately constant changes of metabolism as regards the same subject. No constant proportion exists, however, between the increase of the  $O_2$  absorbed and the  $CO_2$  eliminated; a relatively small value of the former may frequently be connected with a relatively big value of the latter, and vice versa. The  $O_2$  values show most frequently, but by no means always, smaller variations than the  $CO_2$  values.

Different classes of work will, as regards the same subject, involve the bigger changes of metabolism the more strenuous the work in question is. These differences can be very great and are equally conspicuous in the  $CO_2$  as well as in the  $O_2$  values.

The same work may involve most various changes of metabolism as regards different subjects, which is only a natural consequence of the fact, that the metabolism grows with the strain. If a person has more practice in or talent for a

certain work than somebody else, it will naturally give him less trouble and consequently involve smaller changes of metabolism.

When the subject for some reason or other feels indisposed and must exert himself to a great extent in order to carry through what he is wanted to, the metabolism will, as a rule, show a considerable increase besides that, which asserts itself under normal conditions. On the other hand if the subject finds the work very easy for some reason or other, so that it may be carried through with ease, or if the mental work is altogether to be regarded as recreation and rest, then the metabolism can be reduced to such an extent that the increase is negative on an average.

These deviations from the normal changes of metabolism during mental work get explained by the fact, that a strain or relaxation of the attention will involve corresponding changes of the muscular tone, through which the metabolism is increased or decreased.

The changes of the muscular tone, which accompany the strain of attention, are under normal conditions limited probably to the muscles of the head, the arms and the hands, where their strength will grow with the concentration.

Emotions and sentiments will also cause tensions of the muscles, which may appear in all the muscles of the body, varying altogether in extensity and intensity with the kind of emotion in question. The difference between an emotion and the corresponding esthetic sentiment seems especially to depend upon the varying intensity with which the tension of the muscles appears during the two conditions.

The metabolism during the rest-period after the work is on an average less pronounced than during the rest-period before the work. Such a change of level seems only to appear during work, whereas only a slight oscillation of metabolism is perceptible during entire rest. The change of level depends in all likelihood upon a gradually appearing relaxation of the tone of the body-muscles, created by the inhibition of the work, that is to say, the psycho-physiological processes on the latent innervation of the muscles.

The decrease of the rest-metabolism during work will be counteracted when external or internal disturbances involve an intense strain of attention, which will invariably result in a considerable increase of muscular tone. The rest-metabolism may in such cases be bigger after the work than before.

When owing to its facility the work involves a relaxation of attention, the immediate result will be a voluntary relaxation of the body-muscles, which is again followed by the metabolic increases being negative in the beginning.

The greatly reduced muscular tone seems however incompatible with continued activity, and the metabolic increases will consequently become positive again sooner or later.

The increases of  $CO_2$  during mental work are only slightly due to a dilution of  $CO_2$ , even if this may to a certain extent be accountable for the  $CO_2$  values obtained varying more than the corresponding  $O_2$  values.

If a mental work is so easy or short that the sensation of fatigue is not felt,

there may nevertheless exist a slight effect of fatigue, as the amount of work decreases in the very beginning for later on to become constant; and corresponding variations of metabolism are observed.

If the work is so long or difficult as to produce a plainly expressed sensation of fatigue, the amount of work may nevertheless remain constant, or even grow towards the end while the metabolic increases grow relatively much stronger.

An uncomfortable position during work is able to cause so great an increase of metabolism, that the influence of the accomplished work on the metabolic increases is wholly untraceable.

The measurements of metabolism show that mental as well as bodily fatigue are caused by the impossibility of replacing at once the energy transformed in the working organ, and this explains the reduced amount of work as well as expenditure of matter in the beginning, even where easier work is concerned and fatigue scarcely felt.

A vigorous motive of keeping the amount of work constant when hard and tedious work is done and the subject feels tired is likely to set fresh centres at work, but the greatly increased metabolism shows that the efficiency of the activity of these is very small.

The fact that fatigue appears during mental work shows plainly that a fairly big part of the obtained increases of metabolism must issue from the work of the central nerve system.



## INDHOLD

|   | Side     |
|---|----------|
| Indledning .....  | 211 (3)  |
| Apparater og Forsøgsanordning .....                         | 213 (5)  |
| Materialets Bearbejdning .....                              | 219 (11) |
| Stofskiftets Afhængighed af Opmærksomhedsanspændelsen ..... | 225 (17) |
| Stofskiftets Afhængighed af Dispositionen .....             | 234 (26) |
| Stofskiftets Afhængighed af Tonusforandringer .....         | 241 (33) |
| Stofskiftets Afhængighed af Trætheden .....                 | 252 (44) |
| Teoretiske Konsekvenser .....                               | 260 (52) |
| Tabeller (5, 6 og 7) .....                                  | 269 (61) |
| Resumé .....  | 279 (71) |





# INTENSITIES OF SPECTRAL LINES

ON THE APPLICATION OF THE QUANTUM THEORY TO THE  
PROBLEM OF THE RELATIVE INTENSITIES OF THE COMPO-  
NENTS OF THE FINE STRUCTURE AND OF THE STARK EFFECT  
OF THE LINES OF THE HYDROGEN SPECTRUM

BY

H. A. KRAMERS

WITH FOUR PLATES

D. KGL. DANSKE VIDENSK. SELSK. SKRIFTER. NATURVIDENSK. OG MATH. AFD., 8. RÆKKE, III. 3



KØBENHAVN

HOVEDKOMMISSIONÆR: ANDR. FRED. HØST & SØN, KGL. HOF-BOGHADEL

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1919



## Introduction.

In the quantum theory of line spectra it is assumed that the laws of electrodynamics cannot be applied to atomic systems, and the assumption is made that an atomic system can exist without emitting radiation in a number of states, which are called the "stationary states" of the system, and that a process of emission or absorption of energy can only take place by a complete transition between two such states. Further it is assumed that the radiation emitted or absorbed during such a transition is unifrequent, and that its frequency is given by

$$\nu = \frac{1}{h} (E' - E''), \quad (1)$$

where  $E'$  and  $E''$  are the values of the energy in the two states, and where  $h$  is PLANCK's constant. As well known BOHR was able, on the basis of these assumptions, to account in a convincing way for the frequencies of the lines of the series spectrum of hydrogen and for some main features of the series spectra of other elements. In the course of the last years the quantum theory of line spectra has been developed considerably, due to the work of SOMMERFELD, EPSTEIN, SCHWARZSCHILD and others, who, by extending BOHR's original theory, were able to explain, as regards the frequencies of the components, the characteristic fine structure of the hydrogen lines and the effect which strong external electric or magnetic fields have on these lines. Now BOHR<sup>1)</sup> has shown in a recent paper, which contains a general exposure of the principles of the quantum theory of line spectra, that it is not only possible to get information as regards the frequencies of spectral lines, but that at the present state of the theory we are also able to draw some conclusions regarding the polarisation and intensities with which these lines appear, by considering the amplitudes of the harmonic vibrations in which the motion of the particles in an atomic system may be resolved. On professor BOHR's proposal I have undertaken in the present paper to treat in detail the application of his ideas to the problem of the intensity of spectral lines in the special case of

<sup>1)</sup> N. BOHR, On the Quantum Theory of Line Spectra. D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skr., naturvidensk. og mathem. Afd., 8. Række IV, 1, 1918. This paper will in the following be referred to as: N. BOHR, loc. cit.

the fine structure and in that of the Stark effect of the hydrogen lines, and to compare the result of the calculations with the observations.

The paper is divided in two Parts.

Part I deals with the problem of the determination of the values of the amplitudes of the harmonic vibrations in which the motion of certain mechanical systems may be resolved, and is divided in four chapters.

In § 1 a short account will be given of the theory of mechanical systems for which the Hamilton-Jacobi partial differential equation may be solved by means of separation of variables, and it will be shown how it is possible to reduce the calculation of the amplitudes of the harmonic vibrations, in which the motion of these systems may be resolved, to the evaluation of simple definite integrals.

In § 2 the method exposed in § 1 will be applied to the model of a hydrogen atom which is uninfluenced by external forces, assuming that the motion is governed by the laws of relativistic mechanics.

In § 3 the same method will be applied to the model of a hydrogen atom, which is subject to the influence of an external homogeneous electric field of force, the intensity of which is so large that it is possible with a high degree of approximation to determine the motion by means of ordinary Newtonian mechanics.

In § 4 the perturbing influence is considered which a very weak homogeneous electric field of force will have on the motion of the system considered in § 2.

Part II deals with the application of the calculations given in Part I to the problem of the intensities of spectral lines, and is divided in four chapters.

§ 5 contains, besides a brief exposure of the theory of stationary states of systems which allow of separation of variables, an account of BOHR's theory of the connection between the polarisation and intensities of spectral lines emitted by an atomic system and the amplitudes of the harmonic vibrations in which the motion of such a system may be resolved.

In § 6 a discussion is given of the application of the theory to the relative intensities of the components in which the hydrogen lines are split up in case of the Stark effect, on the basis of the formulae deduced in § 3.

§ 7 contains a discussion of the relative intensities with which the components of the fine structure of the hydrogen lines appear, based on the formulae deduced in § 2 and § 4.

In § 8 a brief discussion will be given of certain questions which stand in connection with the application of the theory to the problem of the Zeeman effect of the hydrogen lines.

Finally I wish to express my best thanks to professor N. BOHR, the creator of the beautiful theory underlying the present paper, for his kind interest and encouragement during the achievement of the work.



## Part I.

### Examination of the trigonometric series representing the motion of the electron in the hydrogen atom.

#### § 1. General method applicable to conditionally periodic systems.

Consider a mechanical system of  $s$  degrees of freedom, the equations of motion of which are given by the set of canonical equations

$$\frac{dp_k}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial q_k}, \quad \frac{dq_k}{dt} = +\frac{\partial E}{\partial p_k}, \quad (k = 1, 2 \dots s) \quad (2)$$

where  $q_1, \dots, q_s$  is a set of generalised coordinates by means of which the positions in space of the particles of which the system consists are uniquely determined, while  $p_1, \dots, p_s$  are the canonically conjugated momenta, and where  $E$  is the energy of the system, which is assumed to be a function of the  $p$ 's and  $q$ 's only. The so called Hamilton-Jacobi partial differential equation is then obtained by writing  $p_i = \frac{\partial S}{\partial q_i}$  where  $S$  is a function of the  $q$ 's, and by putting  $E$ , considered as a function of the  $q$ 's and  $\frac{\partial S}{\partial q}$ 's, equal to a constant  $a_1$ ;

$$E\left(q_1 \dots q_s, \frac{\partial S}{\partial q_1} \dots \frac{\partial S}{\partial q_s}\right) = a_1. \quad (3)$$

A complete solution of this equation will contain, besides an additional constant  $C$ ,  $s - 1$  other integration constants  $a_2, \dots, a_s$ . Now it may happen that, for a suitable choice of orthogonal generalised positional coordinates  $q_1, \dots, q_s$ , it is possible to write a complete solution of equation (3) in the form

$$S = \sum S_k(q_k; a_1, \dots, a_s) + C, \quad (4)$$

where  $S_k$  depends on the  $a$ 's and on  $q_k$  only. If this is the case it is said that the equation (3) allows of "separation of variables" for the special choice of coordinates under consideration, or briefly, that the system allows of separation of variables.

For such a system  $\frac{\partial S}{\partial q_k}$ , as seen from (4), will depend on the corresponding  $q_k$  only; moreover remembering that in Newtonian, as well as in relativistic mechanics,  $E$  contains the  $p$ 's in the form of a sum of squares,  $\frac{\partial S}{\partial q_k}$  must necessarily be the square root of a one-valued function of  $q_k$ . Hence, denoting this one-valued function by  $F_k$ , we see that  $S$  may be written in the form

$$S = \sum_1^s \int_1^{q_k} \sqrt{F_k(q_k; a_1, \dots, a_s)} dq_k. \quad (5)$$

If the  $a$ 's satisfy the condition that every function  $F_k(q_k)$  possesses at least two successive finite real simple roots  $q'_k$  and  $q''_k$ , between which the value of the function is positive, the function  $S$  will, considered as a function of the  $q$ 's, possess  $s$  moduli of periodicity, defined by

$$I_k = \int_1^{q''_k} \sqrt{F_k(q_k; a_1, \dots, a_s)} dq_k, \quad (k = 1, \dots, s) \quad (6)$$

where the integration is taken once up and down between  $q'_k$  and  $q''_k$ . It is clear that the quantities  $I$  thus defined are continuous functions of the  $a$ 's in the region where the  $a$ 's satisfy the just mentioned condition, and that generally the  $a$ 's may reversely be expressed as functions of the  $I$ 's. Introducing these expressions for the  $a$ 's in (5), we obtain an expression for  $S$  as a function of the  $q$ 's and of its moduli of periodicity  $I_1, \dots, I_s$ ;

$$S = \sum_1^s S_k(q_k; I_1, \dots, I_s) = \sum_1^s \int_1^{q_k} \sqrt{F_k(q_k; I_1, \dots, I_s)} dq_k. \quad (7)$$

Let us now define a transformation of variables

$$p_k = \frac{\partial S}{\partial q_k}, \quad w_k = \frac{\partial S}{\partial I_k}, \quad (k = 1, \dots, s) \quad (8)$$

which may be considered as transforming the variables  $q_1, \dots, q_s, p_1, \dots, p_s$ , which originally described the positions and velocities of all particles of the system at any moment, into the variables  $I_1, \dots, I_s, w_1, \dots, w_s$ . It is easily seen from the periodicity properties of  $S$  that  $w_k$ , considered as a function of the  $q$ 's and  $I$ 's, will increase by 1 if  $q_k$  continuously oscillates once up and down between its limits  $q'_k$  and  $q''_k$  and returns to its original value; while if one of the other  $q$ 's performs a similar oscillation between its limits,  $w_k$  will return to its original value. From this we see that the  $q$ 's, and also the  $p$ 's, considered as functions of the  $w$ 's and the  $I$ 's, are one-valued functions of these variables, which are periodic in every of the  $w$ 's with period 1, *i. e.* they assume their original values if the  $w$ 's increase by arbitrary integers. The  $q$ 's may therefore be expanded in an  $s$ -double Fourier series of the form

$$q_k = \sum C_{\tau_1, \dots, \tau_s}^{(k)} e^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \dots + \tau_s w_s)}, \quad (9)$$

where the summation is to be extended over all positive and negative entire values of the  $\tau$ 's, and where the  $C$ 's depend on the  $I$ 's only. Similar expansions will hold for the  $p$ 's.

Now, according to a well known theorem of JACOBI, the transformation (8) leaves the canonical form of the equations of motion unaltered, *i. e.* expressing by means of (8)  $E$  as a function of the  $I$ 's and  $w$ 's, the variations of the latter quantities with the time are given by

$$\frac{dI_k}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial w_k}, \quad \frac{dw_k}{dt} = \frac{\partial E}{\partial I_k}, \quad (k = 1, \dots, s) \quad (10)$$

Now  $E$  is, according to (3), equal to  $a_1$ , and consequently a function of the  $I$ 's only. The solution of the equations (10) is therefore immediately obtained by putting

$$I_k = \text{constant}, \quad w_k = \omega_k t + \delta_k, \quad \omega_k = \frac{\partial E}{\partial I_k}, \quad (k = 1, \dots, s) \quad (11)$$

where the  $\delta$ 's are a set of arbitrary constants, while the  $\omega$ 's obviously depend on the constants  $I$  only. We thus see that there exists for the mechanical system under consideration a family of solutions in which each of the  $q$ 's oscillates between two limiting values depending on the constants  $I_1, \dots, I_s$ . It is easily seen that  $\omega_k$  represents the mean number of oscillations which the coordinate  $q_k$  performs between its limits in unit time, taken over a time interval in which a very large number of such oscillations are performed. The variables  $w$  are called "angle variables"; the quantities  $I$ , defined as the moduli of periodicity of the function  $S$ , are canonically conjugated to the  $w$ 's. Mechanical systems for which the motion may be described by a set of angle variables  $w_1, \dots, w_s$  and canonically conjugated  $I$ 's, possessing the properties just considered, are called "conditionally periodic".

Since the  $q$ 's describe the positions of the particles in space uniquely, the displacement  $x$  of any of these particles in any direction in space will be a one-valued function of the  $q$ 's. Considered as a function of the  $I$ 's and  $w$ 's, the displacement  $x$  will therefore, just as each of the  $q$ 's, be periodic in each of the  $w$ 's with period 1, and may consequently also be expressed by a trigonometric series of the form

$$x = \sum C_{\tau_1, \dots, \tau_s} e^{2\pi i (\tau_1 w_1 + \dots + \tau_s w_s)},$$

where the coefficients  $C$  depend on the  $I$ 's only and where the summation is to be extended over all positive and negative entire values of the  $\tau$ 's. Introducing in this expression the values of the  $w$ 's given by (11), we obtain for  $x$ , considered as a function of the time, an expression of the type

$$x = \sum C_{\tau_1, \dots, \tau_s} e^{2\pi i \{(\tau_1 \omega_1 + \dots + \tau_s \omega_s)t + c_{\tau_1, \dots, \tau_s}\}}, \quad (12)$$

where the  $C$ 's and  $c$ 's are constants, showing that the motion of the particles of a conditionally periodic system may be resolved in a number of harmonic vibrations of frequencies  $\tau_1 \omega_1, \dots, \tau_s \omega_s$  the amplitudes of which depend on the quantities  $I_k$  only.

For the systems under consideration the number of the quantities  $\omega$ , which may be denoted as the "fundamental frequencies" characterising the motion, is

generally equal to the number  $s$  of degrees of freedom. In special cases, however, this number may be less than  $s$ , viz. in such cases where, for all values of the  $I$ 's, there exist one or more relations of the type

$$\sum_1^s m_k \omega_k = 0, \quad (13)$$

where the  $m$ 's are a set of integers possessing no common divisor. In fact it is easily seen that by means of  $n$  relations of this kind it is possible to eliminate  $n$  of the quantities  $\omega_k$  in the expressions  $\tau_1 \omega_1 + \dots \tau_s \omega_s$ , so that these expressions assume the form  $\tau_1 \omega_1 + \dots \tau_{s-n} \omega_{s-n}$ . Conditionally periodic systems for which relations of the type (13) hold are called "degenerate" and play an important part in the quantum theory. In § 2 we shall meet with a typical example of a degenerate system.

We shall now proceed to derive expressions for the values of the coefficients  $C$ , which occur in the expansion in a trigonometric series

$$f(q_1, \dots, q_s) = \sum C_{\tau_1, \dots, \tau_s} e^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \dots + \tau_s w_s)},$$

where  $f(q_1, \dots, q_s)$  is a one-valued function of the  $q$ 's. According to Fourier's theorem we have<sup>1)</sup>

$$C_{\tau_1, \dots, \tau_s} = \int_0^1 \dots \int_0^1 f(q_1, \dots, q_s) e^{-2\pi i(\tau_1 w_1 + \dots + \tau_s w_s)} dw_1 \dots dw_s, \quad (14)$$

where the  $q$ 's are regarded as functions of the  $w$ 's and the  $I$ 's. We shall transform this expression into a multiple integral taken over the  $q$ 's, instead of over the  $w$ 's, by means of the transformation formulæ (8), which by means of (7) may be written in the form

$$w_k = \frac{\partial S}{\partial I_k} = \sum_{i=1}^s \frac{\partial S_i}{\partial I_k} = \sum_{i=1}^s \int_0^{q_i} \frac{\partial V F_i}{\partial I_k} dq_i. \quad (k = 1, \dots, s)$$

The functional determinant of this transformation is given by

$$\frac{\partial(w_1, \dots, w_s)}{\partial(q_1, \dots, q_s)} = \left| \frac{\partial^2 S}{\partial I_k \partial q_i} \right| = \left| \frac{\partial V F_i}{\partial I_k} \right| = J,$$

and consists of the sum of a finite number of products of functions which each contain only one of the  $q$ 's. Transforming (14) we now get

$$C_{\tau_1, \dots, \tau_s} = \int \dots \int f(q_1, \dots, q_s) e^{-2\pi i \sum_k \tau_k \frac{\partial S_i}{\partial I_k}} J dq_1 \dots dq_s, \quad (15)$$

<sup>1)</sup> See C. V. L. CHARLIER, *Die Mechanik des Himmels*. I, p. 106. It will be noted that the method followed in the present paper is a simple generalisation of the well known method by which the coordinates of a planet performing a Keplerian motion are expressed, by means of a simple Fourier series, as functions of the time.

where the integration must obviously be taken once up and down between the limits of oscillation  $q'$  and  $q''$  of every  $q$ . Let us now assume that  $f(q_1, \dots, q_s)$  can be written in the form of the sum of a finite number of products of functions, which each depend on one of the  $q$ 's only:

$$f(q_1, \dots, q_s) = \sum_r f_{1r}(q_1) f_{2r}(q_2) \dots f_{sr}(q_s). \quad (16)$$

Then it is easily seen that the value of the coefficient  $C$ , given by (15), will be equal to the sum of a finite number of products

$$C_{\tau_1, \dots, \tau_s} = \sum_r \phi_{1r} \phi_{2r} \dots \phi_{sr}, \quad (17)$$

where  $\phi_{ir}$  is a definite integral of the form

$$\phi_i = \int \varphi(q_i) e^{-2\pi i \sum_k \tau_k \frac{\partial S_i}{\partial I_k}} dq_i. \quad (18)$$

The character of these integrals may be brought out clearly by effecting the transformation

$$q_i = \frac{q_i'' + q_i'}{2} + \frac{q_i'' - q_i'}{2} \cos \psi_i. \quad (19)$$

An oscillation of  $q_i$  up and down between its limits  $q_i'$  and  $q_i''$  corresponds to an increase of  $\psi_i$  by  $2\pi$ . Further the functions  $\frac{\partial S_i}{\partial I_k}$  will be periodic in  $\psi_i$  with period  $2\pi$ , unless  $k = i$ , in which case we have obviously

$$\frac{\partial S_i}{\partial I_i} = \frac{\psi_i}{2\pi} + \text{periodic function of } \psi_i \text{ (period } 2\pi).$$

The integral (18) may therefore be written, denoting by  $P_0, P_1, \dots, P_s$  a set of periodic functions of  $\psi$  with period  $2\pi$ , in the form

$$\phi_i = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P_0(\psi_i) e^{-i\tau_i \psi_i} e^{-2\pi i \sum_{k \neq i} \tau_k \frac{\partial S_i}{\partial I_k}(\psi_i)} d\psi_i.$$

It is possible to express the coefficients  $C$  in the simple form given by (17), only if the function  $f(q_1, \dots, q_s)$  that we want to expand in a trigonometric series can be written in the form (16). Now in the quantum theory a series expansion of the rectangular Cartesian coordinates which describe the positions of the particles of the system in space is asked for, and it might be of interest to investigate whether these latter coordinates always may be expressed in terms of the coordinates  $q_1, \dots, q_s$ , in which separation of variables was obtained, by a formula of the form (16). If the set of coordinates  $q_1, \dots, q_s$  belongs to the well known class of "elliptical coordinates", it is at once seen from the general formulae holding for this kind



of coordinates, given by JACOBI<sup>1)</sup>, that the Cartesian coordinates are functions of the elliptical coordinates of the type (16). In the applications of the quantum theory hitherto made, separation of variables is always obtained in one or other set of elliptical coordinates<sup>2)</sup>, and, due to the special form of the expression for the kinetic energy in mechanics, it seems highly questionable if, for a mechanical system consisting of particles moving under the influence of conservative forces, it is possible to obtain separation of variables in other kinds of coordinates.

## § 2. Hydrogen atom undisturbed by external influences.

In this chapter we shall apply the above analysis to the problem of the motion of an electron of mass  $m$  and charge  $-e$  rotating round a positive nucleus of infinite mass and of charge  $Ne$ , which attracts the electron according to Coulomb's law, assuming that the motion is governed by relativistic mechanics. As well known this system represents the model of a hydrogen atom where the mass of the nucleus is regarded as infinite. If the laws of Newtonian mechanics were applied, the electron would perform a periodic Keplerian motion, but as soon as the modifications in the laws of mechanics, claimed by the theory of relativity, are taken into account the motion will no more be simply periodic. The orbit of the electron will, however, still be plane and may be described as a closed periodic orbit on which a uniform rotation round the nucleus is superposed. Moreover, assuming that the velocity  $v$  of the electron is small compared to the velocity  $c$  of light, the closed orbit in question will differ from a Keplerian orbit only by small quantities of the same order of magnitude as  $v^2/c^2$ , while also the ratio of the frequency  $\nu$  of the superposed rotation to the frequency of revolution of the electron in the closed orbit will be of the same order as  $v^2/c^2$ .

From these simple properties of the motion it would be possible, quite independently of the theory of separation of variables, at once to derive trigonometric series expressing the displacement of the electron in different directions as a function of the time with neglect of small quantities of the order  $v^2/c^2$ . In fact, the expansions in a trigonometric series for the Cartesian coordinates  $\xi$  and  $\eta$  of a point describing a closed Keplerian ellipse are well known in celestial mechanics, and from these expansions are easily obtained the expressions for the Cartesian coordinates  $x$  and  $y$  in a fixed system of coordinates, relative to which the  $\xi$ - $\eta$  system rotates uniformly with the frequency  $\nu$ . An example of a procedure of this kind will be given at the end of this chapter, where the influence of a magnetic field on the motion of the electron in the hydrogen atom will be treated. For the present, however, we will for the sake of illustration treat the problem by means of the general method

<sup>1)</sup> JACOBI, Vorl. über Dynamik, p. 202.

<sup>2)</sup> Rectangular coordinates, polar coordinates and parabolic coordinates may all be regarded as special cases of elliptical coordinates.

discussed in § 1, making use of the fact that the system under consideration allows of separation of variables in polar coordinates. This method also offers the advantage that it allows us to determine the coefficients  $C$  in the trigonometric series, which represent the displacement of the electron, to any degree of approximation desired.

Consider the motion of the electron in the plane and let the position of the electron be described by means of polar coordinates  $r$  and  $\varphi$ , where  $r$  is the length of the radius vector from the nucleus to the electron and  $\varphi$  the angle which this radius vector makes with a fixed direction. These coordinates are connected with the ordinary Cartesian coordinates  $x$  and  $y$  of the electron by means of the relation

$$x + iy = r e^{i\varphi}. \quad (20)$$

In order to find the expansion of  $x$  and  $y$  in trigonometric series it will therefore be sufficient to calculate the coefficients  $C$  in the series

$$r e^{i\varphi} = \sum C_{\tau_1, \tau_2} e^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2)}, \quad (21)$$

where  $w_1$  and  $w_2$  are the angle variables which correspond to  $r$  and  $\varphi$  respectively in the manner described in § 1.

Introducing the notation  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ , where  $v^2 = \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$  is the square of the velocity of the electron, the momenta  $p_r$  and  $p_\varphi$  which are canonically conjugated to the coordinates  $r$  and  $\varphi$  will, according to the laws of relativistic mechanics, be given by  $p_r = m \gamma \frac{dr}{dt}$  and  $p_\varphi = m \gamma r^2 \frac{d\varphi}{dt}$ . The total energy of the system, which is equal to  $mc^2(\gamma - 1) - \frac{Ne^2}{r}$ , will therefore, considered as a function of  $p_r$ ,  $p_\varphi$ ,  $r$  and  $\varphi$ , be given by

$$E = mc^2 \left[ \left\{ 1 + \frac{1}{m^2 c^2} \left( p_r^2 + \frac{1}{r^2} p_\varphi^2 \right) \right\}^{1/2} - 1 \right] - \frac{Ne^2}{r}.$$

The Hamilton-Jacobi partial differential equation will consequently be of the form

$$a_1 = mc^2 \left[ \left\{ 1 + \frac{1}{m^2 c^2} \left( \left( \frac{\partial S}{\partial r} \right)^2 + \frac{1}{r^2} \left( \frac{\partial S}{\partial \varphi} \right)^2 \right) \right\}^{1/2} - 1 \right] - \frac{Ne^2}{r}.$$

As this equation does not contain  $\varphi$ , a separation of variables is directly obtained by putting  $\frac{\partial S}{\partial \varphi}$  equal to the integration constant  $a_2$ , which will represent the angular momentum of the electron round the nucleus. This gives

$$\frac{\partial S}{\partial \varphi} = a_2, \quad \frac{\partial S}{\partial r} = \sqrt{m^2 c^2 \left\{ \left( a_2 + \frac{Ne^2}{r} + 1 \right)^2 - 1 \right\}} - \frac{a_2^2}{r^2} = \sqrt{F(r)}. \quad (22)$$

Introducing now the quantities  $I$  defined by (6), we get

$$I_1 = \int \sqrt{F(r)} dr, \quad I_2 = \int_0^{2\pi} a_2 d\varphi, \quad (23)$$

<sup>1)</sup> Compare for these and the following calculations P. DEBYE, Phys. Zeitschr. XVII p. 512 (1916).

where the first integral is to be extended twice between the two roots of the integrand. Evaluating these integrals and expressing the  $a$ 's as functions of the  $I$ 's, we get, expanding after powers of  $1/c^2$  and neglecting terms containing squares and higher powers of this quantity,

$$a_1 = \frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{(I_1 - I_2)^2} \left\{ 1 + \left( \frac{2\pi N e^3}{c} \right)^2 \left( -\frac{3}{4(I_1 + I_2)^2} + \frac{1}{(I_1 + I_2)I_2} \right) \right\}, \quad a_2 = \frac{I_2}{2\pi}. \quad (24)$$

In the expression for the energy  $a_1$ , the term which does not contain  $1/c^2$  gives the value of the energy for an unrelativistic motion, while the terms containing  $1/c^2$  are, as will be seen in Part II, determinative for the fine structure of the hydrogen lines. We may, however, neglect these terms in the following since, for the purpose of the present paper, it will only be necessary to calculate the values of the coefficients  $C$  in (21) to the first approximation, i. e. with neglect of quantities containing  $1/c^2$  and higher powers of  $1/c^2$ .

Introducing the above values for  $a_1$  and  $a_2$  in (22) we find in this way for  $S$  the expression

$$2\pi S = 2\pi \int_{\varphi}^{\varphi} \frac{\partial S}{\partial r} dr + 2\pi \int_{\varphi}^{\varphi} \frac{\partial S}{\partial \varphi} d\varphi = \int_{\varphi}^{\varphi} \frac{dr}{r} \sqrt{-I_2^2 + \frac{2r}{\kappa} - \frac{r^2}{\kappa^2 I_2^2} + I_2 \varphi}, \quad (25)$$

where we have introduced the abbreviations

$$\kappa = \frac{1}{4\pi^2 N e^3 m}, \quad I = I_1 + I_2. \quad (26)$$

It is easily shown that  $\kappa I^2$  will be equal to the half major axis of the orbit described by the electron.

According to (8) the angle variables  $w_1$  and  $w_2$  will be defined by

$$\left. \begin{aligned} 2\pi w_1 &= 2\pi \frac{\partial S}{\partial I_1} = \frac{1}{\kappa I^2} \int_{\varphi}^{\varphi} \frac{r dr}{\sqrt{-\kappa^2 I^2 I_2^2 + 2r\kappa I^2 - r^2}}, \\ 2\pi(w_2 - w_1) &= 2\pi \left( \frac{\partial S}{\partial I_2} - \frac{\partial S}{\partial I_1} \right) = -\kappa I I_2 \int_{\varphi}^{\varphi} \frac{dr}{r \sqrt{-\kappa^2 I^2 I_2^2 + 2r\kappa I^2 - r^2}} + \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Introducing now the abbreviations

$$\varepsilon^2 = \frac{I_2}{I}, \quad \varepsilon = \sqrt{1 - \varepsilon'^2}, \quad (28)$$

where  $\varepsilon$  may be simply shown to be equal to the eccentricity of the orbit, and introducing (compare (19)) a new variable  $\phi$  by means of

$$r = \kappa I^2 (1 + \varepsilon \cos \phi), \quad (29)$$

it is easily seen that

$$\sqrt{-x^2 I^2 I_2^2 + 2rx I^2 - r^2} \, d\psi,$$

so that the equations (27) may be written in the simple form

$$\left. \begin{aligned} 2\pi w_1 &= \int_0^\psi (1 + \varepsilon \cos \phi) d\phi = \psi + \varepsilon \sin \phi + \pi, \\ 2\pi(w_2 - w_1) &= -\varepsilon' \int_0^\psi \frac{d\phi}{1 + \varepsilon \cos \phi} + \varphi = i \log \frac{\varepsilon + i\varepsilon' \sin \phi + \cos \phi}{1 + \varepsilon \cos \phi} + \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

According to the definition of angle variables, an arbitrary constant may be added to the values of  $w_1$  and  $w_2$ . In the present case the additional term  $\pi$  is written on the right side of the first of the above equations in order to obtain a final formula which is as simple as possible.

In order to obtain now the coefficients  $C_{\tau_1, \tau_2}$  in the expansion (21), we might proceed by directly applying (14), but the calculation can be made shorter by observing that the mechanical system under consideration possesses symmetry round the nucleus and that as a consequence of this all coefficients  $C_{\tau_1, \tau_2}$  in (21) will be equal to zero except those for which  $\tau_2 = 1^1$ . This means that the expression  $r e^{i\varphi} e^{-2\pi i w_1}$  will be a function of  $w_1$  only and may be expanded in a simple Fourier series. In fact from (29) and from the second of the equations (30) we have

$$\left. \begin{aligned} r e^{i\varphi} e^{-2\pi i(w_1 - w_2)} &= x I^2 (1 + \varepsilon \cos \phi) e^{i\varphi} \frac{\varepsilon + i\varepsilon' \sin \phi + \cos \phi}{1 + \varepsilon \cos \phi} e^{-i\varphi} \\ &= x I^2 (\varepsilon + i\varepsilon' \sin \phi + \cos \phi), \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

and this is, according to the first of the equations (30), a function of  $w_1$  only. Now the coefficients  $A_\tau$  in the series

$$\varepsilon + i\varepsilon' \sin \phi + \cos \phi = \sum A_\tau e^{2\pi i \tau w_1} \quad (32)$$

are easily obtained by evaluating, according to Fourier's theorem, the single definite integral

$$A_\tau = \int_0^{2\pi} (\varepsilon + i\varepsilon' \sin \phi + \cos \phi) e^{-2\pi i \tau w_1} dw_1,$$

which is simply changed into an integral over  $\phi$  because we have from the first of the equations (30)

$$dw_1 = (1 + \varepsilon \cos \phi) \frac{d\phi}{2\pi},$$

so that

$$A_\tau = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\varepsilon + i\varepsilon' \sin \phi + \cos \phi) (1 + \varepsilon \cos \phi) e^{-i\tau\phi - i\varepsilon\tau \sin \phi} d\phi. \quad (33)$$

<sup>1)</sup> See N. Воня, loc. cit. Part I, p. 33.

The product of the first two factors of the integrand may be written as a sum of terms  $a_{-2}e^{-2i\varphi} + a_{-1}e^{-i\varphi} + a_0 + a_1e^{i\varphi} + a_2e^{2i\varphi}$ . Remembering that

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-in\psi + i\rho \sin\psi} d\psi = J_n(\rho), \quad (n \text{ integer}) \quad (34)$$

where  $J_n(\rho)$  is the Bessel coefficient of argument  $\rho$  and order  $n$ , we see therefore that  $A_\tau$  may be written as a sum of Bessel coefficients of different orders and of argument  $\tau\varepsilon$ , each multiplied by a certain factor. Performing the necessary calculations and contracting terms by means of the well known formula

$$J_{n-1}(\rho) + J_{n+1}(\rho) = \frac{2n}{\rho} J_n(\rho), \quad (35)$$

we finally get the result

$$A_\tau = -\frac{1}{2\tau} \left\{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\}. \quad (36)$$

This expression becomes undetermined for  $\tau = 0$ . By introducing, however, this value for  $\tau$  directly in (33) we get  $A_0 = \frac{3}{2}\varepsilon$ . For the expansion of  $x + iy$  in a trigonometric series we therefore get from (31), (32) and (36)

$$x + iy = \frac{3}{2}\varepsilon x I^2 e^{2\pi i(-w_1 + w_2)} - x I^2 \sum \frac{1}{2\tau} \left\{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\} e^{2\pi i(\tau-1)w_1 + w_2}, \quad (37)$$

where the summation is to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau$  except  $\tau = 0$ , and where the factor  $x I^2$ , as mentioned, is equal to the half major axis of the orbit of the electron.

The values of the coefficients are, as mentioned above, calculated with neglect of small terms containing the square and higher powers of  $1/c$ ; it will, however, be observed that, also if these terms were taken into account, there would in the expansion for  $x + iy$  only occur terms of the form  $e^{2\pi i(\tau-1)w_1 + w_2}$ , due to the symmetry of the system.

The expressions for  $w_1$  and  $w_2$  as linear functions of the time are given by

$$w_1 = \omega_1 t + \delta_1, \quad w_2 = \omega_2 t + \delta_2, \quad (38)$$

where, according to (11),  $\omega_1 = \frac{\partial a_1}{\partial I_1}$  and  $\omega_2 = \frac{\partial a_1}{\partial I_2}$ ,  $a_1$  representing the total energy of the system as given by (24), and where  $\delta_1$  and  $\delta_2$  are constants. We thus see that the motion of the electron may be considered as a superposition of an infinite number of circular harmonic vibrations, the frequencies of which are given by the numerical values of  $\tau-1$   $\omega_1 + \omega_2$ , where  $\tau$  may assume all positive and negative entire values, and the amplitudes of which are directly given by (37).

The values of  $\omega_1$  and  $\omega_2$  differ only by small quantities of the order  $v^2/c^2$ , their difference being equal to the frequency  $\nu$  mentioned on page 10, and become equal when the relativity modifications are neglected ( $c = \infty$ ). In this case the expression (37) gives



$$x + iy = \frac{3}{2} \varepsilon r^2 e^{2\pi i \delta} - \varepsilon r^2 \Sigma \frac{1}{2\tau} \left\{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\} e^{2\pi i(\tau\omega t + \delta)}, \quad (39)$$

where  $\omega$  is the frequency of revolution of the electron in its Keplerian orbit, and where  $\delta$  is an arbitrary constant. The last expression is easily seen to be identical with the expressions for the coordinates of a point performing a Keplerian motion, which are well known in celestial mechanics<sup>1)</sup>, and from which, as mentioned in the beginning of this section, the expression (37) could have been deduced directly.

In the preceding considerations the problem has been treated as the problem of the motion of the electron in a plane. If we, however, consider the motion of the electron in space, we have to do with a mechanical system of three degrees of freedom. This system will appear as a degenerate system, because there will occur in the trigonometric series representing the displacement of the electron in any direction in space only two fundamental frequencies, *viz.* the frequency  $\omega_1$  of the radial and the mean frequency  $\omega_2$  of the angular motion of the electron in the plane of its orbit. In the presence of a homogeneous magnetic field, however, the system will no more be degenerate, because a third fundamental frequency will occur in the motion of the electron, which no longer will remain plane. In fact, assuming that the intensity of the magnetic force is so small that we may neglect small quantities proportional to the square of this intensity, we have according to a well known theorem of LARMOR, that every possible motion in the presence of the magnetic field may be obtained by superposing on a possible motion of the system without field a slow uniform rotation round an axis through the nucleus which is parallel to the direction of the field. The frequency of this rotation will be given by

$$\omega_H = \frac{e}{4\pi mc} H, \quad (40)$$

where  $c$  is the velocity of light and  $H$  the intensity of the magnetic force. From this we see that the mean frequency of rotation of the electron round the above mentioned axis, which we will denote by  $\omega_3$ , will be equal to  $\omega_3 = \omega_2 \pm \omega_H$ , where the upper or lower sign holds according to whether the direction of the superposed rotation has the same direction as or the opposite of that of the rotation of the electron round this axis.

Let us now ask for the trigonometric series in which the displacement of the electron in different directions in space can be expanded in the presence of a magnetic field. Take the nucleus as origin of a system of rectangular Cartesian coordinates  $x, y, z$ , the  $z$ -axis of which is parallel to the direction of the magnetic field. Let the angle between the  $z$ -axis and the plane in which the electron at any moment moves be denoted by  $\theta$ , and let the position of the electron in this plane be described by means of rectangular coordinates  $\xi, \eta$ , the  $\eta$ -axis being perpendi-

<sup>1)</sup> See for instance CHARLIER, loc. cit. I, p. 215.

cular to the  $z$ -axis. Then the coordinates  $x, y, z$  defining the position of the electron in space will be connected with  $\xi$  and  $\eta$  by means of the formulae

$$z = \xi \cos \vartheta, \quad x + iy = (\xi \sin \vartheta + i\eta) e^{2\pi i(\omega_2 - \omega_3)t}. \quad (41)$$

Now, according to (37) and (38), the dependency on the time of the quantities  $\xi$  and  $\eta$  is expressed by

$$\xi + i\eta = \frac{3}{2} \varepsilon \chi I^2 e^{2\pi i(-\omega_1 + \omega_2)t} - \chi I^2 \sum_{\tau} \frac{1}{2\tau} \left\{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\} e^{2\pi i(\tau-1)\omega_1 + \omega_2)t},$$

where the summation has to be extended over all positive and negative values of  $\tau$ , except  $\tau = 0$ , and where for simplicity we have taken the quantities  $\partial_1$  and  $\partial_2$  in (38) equal to zero, what is easily seen not to restrict the generality of the considerations. By means of this formula we get from (41), denoting  $\cos \vartheta$  by  $\mu$  and  $\sin \vartheta$  by  $\mu'$ ,

$$\begin{aligned} z &= \frac{3}{2} \mu \varepsilon \chi I^2 e^{2\pi i(-\omega_1 + \omega_2)t} - \mu \chi I^2 \sum_{\tau} \frac{1}{2\tau} \left\{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\} \cos 2\pi(\tau-1)\omega_1 + \omega_2)t \\ x + iy &= \frac{3}{4} (1 + \mu') \varepsilon \chi I^2 e^{2\pi i(-\omega_1 + \omega_2)t} - \frac{1 + \mu'}{2} \chi I^2 \sum_{\tau} \frac{1}{2\tau} \left\{ (1 - \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\} e^{2\pi i(\tau-1)\omega_1 + \omega_2)t} \\ &- \frac{3}{4} (1 - \mu') \varepsilon \chi I^2 e^{2\pi i(\omega_1 - 2\omega_2 + \omega_3)t} + \frac{1 - \mu'}{2} \chi I^2 \sum_{\tau} \frac{1}{2\tau} \left\{ (1 - \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 + \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\} e^{2\pi i(\tau+1)\omega_1 - 2\omega_2 + \omega_3)t}, \end{aligned} \quad (42)$$

where again the summations are to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau$  except  $\tau = 0$ . It is seen that the motion of the electron may be regarded as a superposition of linear harmonic vibrations parallel to the axis and of frequencies  $|\tau - 1| \omega_1 + \omega_2|$ , and of circular harmonic rotations perpendicular to this axis and of frequencies  $|\tau - 1| \omega_1 + \omega_3|$  and  $|\tau + 1| \omega_1 - 2\omega_2 + \omega_3|$ . In the expressions, given by (42), for the amplitudes of these vibrations small quantities of the same order as  $v^2/c^2$  are neglected, just as in (37), while from the above calculation it is seen that the magnetic field, at any rate in first approximation, does not affect the values of these amplitudes.

### § 3. Hydrogen atom under the influence of a strong homogeneous electric field of force.

In this chapter we shall consider a mechanical system, consisting of an electron of charge  $-e$  and mass  $m$ , which is subject to the attraction of a nucleus of charge  $Ne$  and of infinite mass as well as to the influence of a homogeneous electric field of intensity  $F$ , assuming that the motion of the electron is governed by the laws of Newtonian mechanics. We shall assume that the force  $eF$  is small compared with the force which the nucleus exerts at any moment on the electron, and it will be our purpose to solve the equations of motion by means of trigonometric series of the type (12), in such a way that we shall neglect in the calculation of the coefficients  $C$  small quantities which are proportional to the first power

and to higher powers of  $F$ . For the system under consideration a separation of variables can be obtained if parabolic coordinates are used to describe the position of the electron in space<sup>1)</sup>. If  $x, y, z$ , are the coordinates of the electron in a system of rectangular Cartesian coordinates with the origin at the nucleus and with the  $z$ -axis parallel to the direction of the external electric force, these parabolic coordinates may be defined by

$$z = \frac{\xi - \eta}{2}, \quad x + iy = \sqrt{\xi\eta} e^{i\varphi}. \quad (43)$$

$\xi$  and  $\eta$  are two parameters defining the two paraboloids of revolution which have their common focus at the nucleus and their common axis parallel to the  $z$ -axis and which pass through the electron, while  $\varphi$  is the angular distance between the  $xz$ -plane and the plane containing the  $z$ -axis and the electron. Denoting in the usual way the differential coefficients  $\frac{dx}{dt}, \frac{d\xi}{dt}, \dots$  by  $\dot{x}, \dot{\xi}, \dots$ , the kinetic energy of the system will be given by

$$T = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) = \frac{m}{8} \left( \frac{\dot{\xi} + \eta}{\xi} \dot{\xi}^2 + \frac{\dot{\xi} + \eta}{\eta} \dot{\eta}^2 + 4 \dot{\xi} \dot{\eta} \dot{\varphi}^2 \right),$$

so that the momenta, which are canonically conjugated to the coordinates  $\xi, \eta$  and  $\varphi$ , are given by

$$p_{\xi} = \frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}} = \frac{m}{4} \frac{\dot{\xi} + \eta}{\xi} \dot{\xi}, \quad p_{\eta} = \frac{\partial T}{\partial \dot{\eta}} = \frac{m}{4} \frac{\dot{\xi} + \eta}{\eta} \dot{\eta}, \quad p_{\varphi} = \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = m \xi \eta \dot{\varphi}.$$

Denoting the distance  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  of the electron from the nucleus by  $r$ , the potential energy of the system will be represented by

$$P = -\frac{Ne^2}{r} + eFz = -\frac{2Ne^2}{\xi + \eta} + \frac{1}{2} e(\xi - \eta)F,$$

so that the total energy  $E$ , expressed as a function of  $p_{\xi}, p_{\eta}, p_{\varphi}, \xi, \eta, \varphi$ , which enters in the Hamiltonian equations of motions (2) of the system, will be given by

$$E = \frac{1}{2m} \left( \frac{4\xi}{\xi + \eta} p_{\xi}^2 + \frac{4\eta}{\xi + \eta} p_{\eta}^2 + \frac{1}{\xi\eta} p_{\varphi}^2 \right) - \frac{2Ne^2}{\xi + \eta} + \frac{1}{2} e(\xi - \eta)F.$$

The Hamilton-Jacobi partial differential equation will be obtained by introducing  $p_{\xi} = \frac{\partial S}{\partial \xi}, p_{\eta} = \frac{\partial S}{\partial \eta}, p_{\varphi} = \frac{\partial S}{\partial \varphi}$ , and by putting the expression for the energy thus obtained equal to a constant  $\alpha_1$ :

$$\frac{1}{\xi + \eta} \left\{ \frac{1}{2m} \left( 4\xi \left( \frac{\partial S}{\partial \xi} \right)^2 + 4\eta \left( \frac{\partial S}{\partial \eta} \right)^2 + \left( \frac{1}{\xi} + \frac{1}{\eta} \right) \left( \frac{\partial S}{\partial \varphi} \right)^2 \right) - 2Ne^2 + \frac{1}{2} e(\xi^2 - \eta^2)F \right\} = \alpha_1.$$

Effecting in this equation a separation of variables we find

<sup>1)</sup> P. EPSTEIN, Ann. d. Phys. L., p. 489 (1916).

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \xi} &= \frac{1}{2\xi} \sqrt{-a_3^2 + 2(mNe^2 - a_2)\xi + 2ma_1\xi^2 - meF\xi^3}, \\ \frac{\partial S}{\partial \eta} &= \frac{1}{2\eta} \sqrt{-a_3^2 + 2(mNe^2 + a_2)\eta + 2ma_1\eta^2 + meF\eta^3}, \\ \frac{\partial S}{\partial \varphi} &= a_3, \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

where  $a_2$  and  $a_3$  are two integration constants. According to (6) the quantities  $I_1$ ,  $I_2$  and  $I_3$  will now be given by

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \int \frac{d\xi}{2\xi} \sqrt{-a_3^2 + 2(mNe^2 - a_2)\xi + 2ma_1\xi^2 - meF\xi^3}, \\ I_2 &= \int \frac{d\eta}{2\eta} \sqrt{-a_3^2 + 2(mNe^2 + a_2)\eta + 2ma_1\eta^2 + meF\eta^3}, \\ I_3 &= \int_0^{2\pi} a_3' d\varphi, \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

where in the expression for  $I_1$  and  $I_2$  the integration is to be extended twice between the roots of the integrands. Expanding after powers of  $F$ , and expressing the  $a$ 's as functions of the  $I$ 's, we find

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= -\frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{(I_1 + I_2 + I_3)^2} + \frac{3F}{8\pi^2 Nem} (I_1 + I_2 + I_3)(I_1 - I_2) + \delta', \\ a_2 &= -mNe^2 \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2 + I_3} + \delta'', \\ a_3 &= \frac{I_3}{2\pi}. \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

In these formulae  $\delta'$  is a small quantity containing the second power and higher powers of  $F$ , while  $\delta''$  is a small quantity containing the first power and higher powers of  $F$ . The term in the expression for the energy  $a_1$  which is proportional to  $F$  is of large importance for the determination of the frequencies occurring in the motion of the system, but, since in the calculation of the coefficients  $C$  occurring in the trigonometric series representing the motion we shall, as mentioned, neglect small quantities proportional to  $F$  and higher powers of  $F$ , we may neglect this term, as well as the terms  $\delta'$  and  $\delta''$ . In this way we find, by introducing (46) in (44), for  $S$  expressed as a function of  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\varphi$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,

$$2\pi S = \frac{1}{2} \int \frac{d\xi}{\xi} \sqrt{\left(-I_3^2 + 2\frac{I_1 + I_3}{\xi I} \xi - \frac{\xi^2}{\xi^2 I^2}\right)} + \frac{1}{2} \int \frac{d\eta}{\eta} \sqrt{\left(-I_3^2 + 2\frac{I_2 + I_3}{\eta I} \eta - \frac{\eta^2}{\eta^2 I^2}\right)} + I_3 \varphi, \quad (47)$$

where we have introduced the abbreviations

$$z = \frac{1}{4\pi^2 N e^2 m}, \quad I = I_1 + I_2 + I_3.$$

The angle variables  $w_1$ ,  $w_2$  and  $w_3$  will now, according to (8), be defined by

$$\left. \begin{aligned} 2\pi w_1 &= 2\pi \frac{\partial S}{\partial I_1} = \frac{1}{2\pi I^2} \int_{\xi}^{\xi} d\xi \frac{x I (2I_2 + I_3) \xi + \xi^2}{\xi \sqrt{-x^2 I_3^2 I^2 + 2x(2I_1 + I_3) I \xi - \xi^2}} + \frac{1}{2\pi I^2} \int_{\eta}^{\eta} d\eta \frac{-x I (2I_2 + I_3) \eta + \eta^2}{\eta \sqrt{-x^2 I_3^2 I^2 + 2x(2I_2 + I_3) I \eta - \eta^2}}, \\ 2\pi w_2 &= 2\pi \frac{\partial S}{\partial I_2} = \frac{1}{2\pi I^2} \int_{\xi}^{\xi} d\xi \frac{-x I (2I_1 + I_3) \xi + \xi^2}{\xi \sqrt{-x^2 I_3^2 I^2 + 2x(2I_1 + I_3) I \xi - \xi^2}} + \frac{1}{2\pi I^2} \int_{\eta}^{\eta} d\eta \frac{x I (2I_1 + I_3) \eta + \eta^2}{\eta \sqrt{-x^2 I_3^2 I^2 + 2x(2I_2 + I_3) I \eta - \eta^2}}, \\ 2\pi w_3 &= 2\pi \frac{\partial S}{\partial I_3} = \frac{1}{2\pi I^2} \int_{\xi}^{\xi} d\xi \frac{-x^2 I_3 I^3 + x I (I_1 - I_2) \xi + \xi^2}{\xi \sqrt{-x^2 I_3^2 I^2 + 2x(2I_1 + I_3) I \xi - \xi^2}} + \frac{1}{2\pi I^2} \int_{\eta}^{\eta} d\eta \frac{-x^2 I_3 I^3 - x I (I_1 - I_2) \eta + \eta^2}{\eta \sqrt{-x^2 I_3^2 I^2 + 2x(2I_2 + I_3) I \eta - \eta^2}}. \end{aligned} \right\} \quad (48)$$

Writing

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= x(2I_1 + I_3)I, & L_1^2 &= M_1^2 - K^2 = 4x^2 I^2 I_1(I_1 + I_3), \\ K &= x I_3 I, & M_2 &= x(2I_2 + I_3)I, & L_2^2 &= M_2^2 - K^2 = 4x^2 I^2 I_2(I_2 + I_3), \end{aligned} \right\} \quad (49)$$

and introducing (compare (19)) instead of  $\xi$  and  $\eta$  two new variables  $\phi$  and  $\chi$  by means of the formulae

$$\xi = M_1 + L_1 \cos \phi, \quad \eta = M_2 + L_2 \cos \chi, \quad (50)$$

it is easily seen that

$$\frac{d\xi}{\sqrt{-x^2 I_3^2 I^2 + 2x(2I_1 + I_3) I \xi - \xi^2}} = d\phi, \quad \frac{d\eta}{\sqrt{-x^2 I_3^2 I^2 + 2x(2I_2 + I_3) I \eta - \eta^2}} = d\chi,$$

and that the equations (48) may be written in the form

$$2\pi w_1 = \frac{1}{2x I^2} (L_1 \sin \phi + L_2 \sin \chi) + \phi + \pi, \quad (a)$$

$$2\pi w_2 = \frac{1}{2x I^2} (L_1 \sin \phi + L_2 \sin \chi) + \chi + \pi, \quad (b) \quad (51)$$

$$2\pi w_3 = \frac{1}{2x I^2} (L_1 \sin \phi + L_2 \sin \chi) + \frac{\phi + \chi}{2} - K \left( \int_{M_1}^{\phi} \frac{d\phi}{L_1 \cos \phi} + \int_{M_2}^{\chi} \frac{d\chi}{L_2 \cos \chi} \right) + \pi + \pi. \quad (c)$$

Introducing the notations

$$\sigma_1 = \frac{L_1}{2x I^2} = \frac{1}{I} \sqrt{I_1(I_1 + I_3)}, \quad \sigma_2 = \frac{L_2}{2x I^2} = \frac{1}{I} \sqrt{I_2(I_2 + I_3)},$$

the equations (51) (a) and (b) become

$$2\pi w_1 = \sigma_1 \sin \phi + \sigma_2 \sin \chi + \phi + \pi, \quad (52)$$

$$2\pi w_2 = \sigma_1 \sin \phi + \sigma_2 \sin \chi + \chi + \pi. \quad (53)$$



These equations show that  $\psi$  and  $\chi$ , and consequently  $\xi$  and  $\eta$ , are functions of  $w_1$  and  $w_2$  only. From this it follows that the displacement  $z = \frac{\xi - \eta}{2}$  of the electron in the direction of the  $z$ -axis may be expanded in a doubly infinite series of the form

$$z = \frac{\xi - \eta}{2} = \sum A_{\tau_1, \tau_2} e^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2)}, \quad (54)$$

where the summation is to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau_1$  and  $\tau_2$ . According to Fourier's theorem we get for  $A_{\tau_1, \tau_2}$

$$A_{\tau_1, \tau_2} = \int_0^1 \int_0^1 \frac{\xi - \eta}{2} e^{-2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2)} dw_1 dw_2. \quad (55)$$

Following the procedure given in § 1 we will now transform this integral in an integral over  $\psi$  and  $\chi$ . From (52) and (53) we get for the functional determinant of this transformation

$$\frac{\partial(w_1, w_2)}{\partial(\psi, \chi)} = \frac{1}{4\pi^2} \begin{vmatrix} \sigma_1 \cos \psi + 1 & \sigma_1 \cos \psi \\ \sigma_2 \cos \chi & \sigma_2 \cos \chi + 1 \end{vmatrix} = \frac{1}{4\pi^2} (1 + \sigma_1 \cos \psi + \sigma_2 \cos \chi). \quad (56)$$

For  $z = \frac{\xi - \eta}{2}$  we get from (50)

$$\frac{\xi - \eta}{2} = \frac{M_1 - M_2}{2} + \frac{L_1 \cos \psi - L_2 \cos \chi}{2} = x I(I_1 - I_2) + x I^2 (\sigma_1 \cos \psi - \sigma_2 \cos \chi).$$

Hence, if both  $\tau_1$  and  $\tau_2$  are different from zero, the integral (55) assumes the form

$$A_{\tau_1, \tau_2} = \frac{x I^2 (-1)^\tau}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} (\sigma_1 \cos \psi - \sigma_2 \cos \chi) (1 + \sigma_1 \cos \psi + \sigma_2 \cos \chi) e^{-i\tau_1 \psi - i\tau \sigma_1 \sin \psi - i\tau_2 \chi - i\tau \sigma_2 \sin \chi} d\psi d\chi, \quad (57)$$

where

$$\tau = \tau_1 + \tau_2.$$

The expression (57) is equal to the sum of six terms each consisting of the product of two definite integrals of the type

$$\text{constant} \times \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\cos \psi)^p e^{-i\tau_1 \psi - i\tau \sigma_1 \sin \psi} d\psi, \quad (58)$$

where  $p$  is equal to 0, 1 or 2. This integral will be seen to be equal to a sum of Bessel coefficients of argument  $\tau \sigma_1$  and of different orders, each multiplied by a factor. Performing the necessary calculations, making use of (34), and contracting terms by means of (35) and of

$$\frac{1}{2} (J_{n-1}(\rho) - J_{n+1}(\rho)) = \frac{d}{d\rho} J_n(\rho) = J'_n(\rho),$$

we get the final result

$$A_{\tau_1, \tau_2} = \frac{xI^2}{\tau} (\sigma_2 J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - \sigma_1 J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2)). \quad (59)$$

As regards the term  $A_{0,0}$  in the expansion (54) for  $z$ , we have obviously

$$\begin{aligned} A_{00} &= xI(I_1 - I_2) - \frac{xI^2}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} (\sigma_1 \cos \psi - \sigma_2 \cos \chi) (1 - \sigma_1 \cos \psi - \sigma_2 \cos \chi) d\psi d\chi \\ &= xI(I_1 - I_2) + xI^2 \left( \frac{\sigma_1^2}{2} - \frac{\sigma_2^2}{2} \right) = \frac{3}{2} xI(I_1 - I_2). \end{aligned}$$

The expansion for  $z$  in a trigonometric series therefore assumes the form

$$z = \frac{3}{2} xI(I_1 - I_2) + xI^2 \sum_{\tau} \frac{1}{\tau} \left\{ \sigma_2 J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - \sigma_1 J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) \right\} e^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2)}, \quad (60)$$

where the summation is to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau_1$  and  $\tau_2$ , with exception of the combination  $\tau_1 = 0, \tau_2 = 0$ . For the combinations for which  $\tau = \tau_1 + \tau_2 = 0$  the expression for the coefficients becomes undefined, but by introducing  $\tau = 0$  in (57) it is easily seen that the coefficients in question are equal to zero.

In order now to find the trigonometric series representing the displacement of the electron in the direction of the  $x$ -axis and of the  $y$ -axis, we might follow the procedure indicated in § 1, but the calculations may be made shorter, just as in § 2, if we observe that the  $z$ -axis is an axis of symmetry of the system, as a consequence of which the expansion for  $x + iy$  will only contain terms of the type  $Ce^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2 + w_3)}$ . In fact, if we note that

$$\begin{aligned} K \int_0^\psi \frac{d\psi}{M_1 + L_1 \cos \psi} &= -i \log \frac{\left\{ (M_1 + L_1) \cos \frac{\psi}{2} + iK \sin \frac{\psi}{2} \right\}^2}{(M_1 + L_1)(M_1 + L_1 \cos \psi)} \\ K \int_0^\chi \frac{d\chi}{M_2 + L_2 \cos \chi} &= -i \log \frac{\left\{ (M_2 + L_2) \cos \frac{\chi}{2} + iK \sin \frac{\chi}{2} \right\}^2}{(M_2 + L_2)(M_2 + L_2 \cos \chi)} \end{aligned}$$

the equations (51) (b) and (c) give

$$2\pi(w_2 - w_3) = -\frac{\psi}{2} + \frac{\chi}{2} - \varphi - \frac{i}{2} \log \frac{\left\{ (M_1 + L_1) \cos \frac{\psi}{2} + iK \sin \frac{\psi}{2} \right\}^2 \left\{ (M_2 + L_2) \cos \frac{\chi}{2} + iK \sin \frac{\chi}{2} \right\}^2}{(M_1 + L_1)(M_2 + L_2)(M_1 + L_1 \cos \psi)(M_2 + L_2 \cos \chi)}$$

so that, making use of (43), we have

$$\begin{aligned} (x + iy)e^{2\pi i(w_2 - w_3)} &= V \xi \eta e^{i\varphi + 2\pi i(w_2 - w_3)} \\ &= e^{i(-\frac{\psi}{2} + \frac{\chi}{2})} \frac{\left\{ (M_1 + L_1) \cos \frac{\psi}{2} + iK \sin \frac{\psi}{2} \right\}^2 \left\{ (M_2 + L_2) \cos \frac{\chi}{2} + iK \sin \frac{\chi}{2} \right\}^2}{V(M_1 + L_1)(M_2 + L_2)}. \end{aligned}$$

The last expression contains only  $\phi$  and  $\chi$  and is therefore a function of  $w_1$  and  $w_2$  only, which allows of an expansion of the form

$$(x + iy)e^{2\pi i(w_2 - w_1)} = \sum B_{\tau_1, \tau_2} e^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2)}, \quad (61)$$

where the summation is to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau_1$  and  $\tau_2$ , and where the coefficients  $B$  according to Fourier's theorem are equal to

$$B_{\tau_1, \tau_2} = \frac{1}{V(M_1 + L_1)(M_2 + L_2)} \int_0^1 \int_0^1 \left\{ (M_1 + L_1) \cos \frac{\phi}{2} + iK \sin \frac{\phi}{2} \right\} \cdot \left\{ (M_2 + L_2) \cos \frac{\chi}{2} + iK \sin \frac{\chi}{2} \right\} e^{-2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2)} dw_1 dw_2.$$

We will now transform this expression into an integral which is taken over  $\phi$  and  $\chi$ , making use of the expression (56) for the functional determinant of the transformation. At the same time we will introduce the abbreviations

$$\iota_1 = \sqrt{\frac{I_1}{I}}, \quad \iota_2 = \sqrt{\frac{I_2}{I}}, \quad \iota_{13} = \sqrt{\frac{I_1 + I_3}{I}}, \quad \iota_{23} = \sqrt{\frac{I_2 + I_3}{I}}, \quad \iota_3 = \sqrt{\frac{I_3}{I}}, \quad (62)$$

which allow us to express the quantities  $K$ ,  $M_1$ ,  $L_1$ ,  $M_2$ ,  $L_2$ ,  $\sigma_1$  and  $\sigma_2$  in the form

$$\left. \begin{aligned} K &= x I^2 \iota_3^2, & M_1 &= x I^2 (\iota_1^2 + \iota_{13}^2), & L_1 &= 2x I^2 \iota_1 \iota_{13}, & \sigma_1 &= \iota_1 \iota_{13}, \\ M_2 &= x I^2 (\iota_2^2 + \iota_{23}^2), & L_2 &= 2x I^2 \iota_2 \iota_{23}, & \sigma_2 &= \iota_2 \iota_{23}. \end{aligned} \right\} \quad (63)$$

In this way we get, denoting  $\tau_1 + \tau_2 + 1$  by  $\tau$ ,

$$\begin{aligned} B_{\tau_1, \tau_2} &= (-1)^\tau \frac{V(M_1 + L_1)(M_2 + L_2)}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left( \cos \frac{\phi}{2} + i \frac{K}{M_1 + L_1} \sin \frac{\phi}{2} \right) \left( \cos \frac{\chi}{2} + i \frac{K}{M_2 + L_2} \sin \frac{\chi}{2} \right) \cdot \\ &\quad \cdot (1 + \sigma_1 \cos \phi + \sigma_2 \cos \chi) e^{-i(\tau_1 + \frac{1}{2})\phi - i\tau\sigma_1 \sin \phi - i(\tau_2 + \frac{1}{2})\chi - i\tau\sigma_2 \sin \chi} d\phi d\chi \\ &\quad (-1)^\tau \frac{x I^2}{4\pi^3} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} ( \iota_{13} e^{i\phi/2} + \iota_1 e^{-i\phi/2} ) ( \iota_{23} e^{i\chi/2} + \iota_2 e^{-i\chi/2} ) ( 1 + \iota_1 \iota_{13} \cos \phi + \iota_2 \iota_{23} \cos \chi ) \cdot \\ &\quad \cdot e^{-i(\tau_1 + \frac{1}{2})\phi - i\tau\sigma_1 \sin \phi - i(\tau_2 + \frac{1}{2})\chi - i\tau\sigma_2 \sin \chi} d\phi d\chi. \end{aligned} \quad (64)$$

We see that the last expression becomes equal to the sum of a number of terms each consisting of the product of two integrals of the type (58), where  $p$  is equal to 0 or 1. Making use of formula (34), we may write each of these integrals as a sum of Bessel coefficients of the same argument and of different orders. By means of elementary calculations and making use of (35), we get in this way for the  $B$ 's the final expression

$$B_{\tau_1, \tau_2} = -\frac{x I^2}{\tau} \left\{ \iota_{13} \iota_{23} J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - \iota_1 \iota_2 J_{\tau_1+1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2+1}(\tau\sigma_2) \right\}. \quad (65)$$

This expression becomes indefinite for  $\tau = 0$ , but by introducing this value of  $\tau$  directly in (64), we easily find

$$B_{-1,0} = \frac{3}{2} x I^2 t_1 t_{23}, \quad B_{0,-1} = \frac{3}{2} x I^2 t_2 t_{13}, \quad (66)$$

while for all other combinations of  $\tau_1$  and  $\tau_2$  for which  $\tau = \tau_1 + \tau_2 + 1 = 0$  the coefficients become zero. From (61), (65) and (66) we see therefore that the expansion of  $x + iy$  in a trigonometric series may be written in the form

$$\left. \begin{aligned} x + iy &= \frac{3}{2} x I^2 (t_1 t_{23} e^{2\pi i(-\omega_1 + \omega_2)} + t_2 t_{13} e^{2\pi i(-\omega_2 + \omega_1)}) \\ &- x I^2 \sum_{\tau} \frac{1}{\tau} \left\{ t_{13} t_{23} J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - t_1 t_2 J_{\tau_1+1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2+1}(\tau\sigma_2) \right\} e^{2\pi i(\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2 + \omega_3)}, \end{aligned} \right\} \quad (67)$$

where the summation is to be extended over all positive and negative entire values of the  $\tau$ 's, with the exception of such combinations for which  $\tau = \tau_1 + \tau_2 + 1 = 0$ .

From (60) and (67) we obtain directly the expressions for  $z$  and  $x + iy$  as functions of the time by introducing for the  $\omega$ 's their expressions as linear functions of the time. According to (12) we have

$$w_1 = \omega_1 t + \delta_1, \quad w_2 = \omega_2 t + \delta_2, \quad w_3 = \omega_3 t + \delta_3, \quad (68)$$

where by means of the expression (46) for  $a_1$  the  $\omega$ 's are, with neglect of small quantities proportional to  $F^2$ , found to be equal to

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \omega_3 + v_F, & \omega_2 &= \omega_3 - v_F, \\ \omega_3 &= \frac{4\pi^2 N^2 e^4 m}{I^3} + \frac{3F(I_1 - I_2)}{8\pi^2 N e m}, & v_F &= \frac{3FI}{8\pi^2 N e m}, \end{aligned} \right\} \quad (69)$$

while  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  and  $\delta_3$  are constants.

Introducing (68) in (60) and (67), and taking for simplicity  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  and  $\delta_3$  equal to zero, we get

$$\left. \begin{aligned} z &= \frac{3}{2} x I (I_1 - I_2) + x I^2 \sum_{\tau} \frac{1}{\tau} \left\{ \sigma_2 J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J'_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - \sigma_1 J'_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) \right\} e^{2\pi i(\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2)t}, \\ x + iy &= \frac{3}{2} x I^2 (t_1 t_{23} e^{2\pi i(-\omega_1 + \omega_2)t} + t_2 t_{13} e^{2\pi i(-\omega_2 + \omega_1)t}) \\ &- x I^2 \sum_{\tau} \frac{1}{\tau} \left\{ t_{13} t_{23} J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - t_1 t_2 J_{\tau_1+1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2+1}(\tau\sigma_2) \right\} e^{2\pi i(\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2 + \omega_3)t}. \end{aligned} \right\} \quad (70)$$

It would be easy to write the series for  $z$  as a series of cosine terms with real coefficients, but the form given above is more symmetrical. The formulae show that the motion of the electron may be regarded as a superposition of an infinite number of linear harmonic vibrations parallel to the direction of the electric force with frequencies  $|\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2|$ , and of an infinite number of circular harmonic rotations perpendicular to this direction and with frequencies  $\tau_1\omega_1 - \tau_2\omega_2 + \omega_3$ . It may once more be remembered that, in the above expressions for the amplitudes of these frequencies, small quantities proportional to  $F$  and to higher powers of  $F$  are neglected.

From (69) we see that, if we neglect small quantities proportional to  $F^2$ , there exists a homogeneous linear relation with entire coefficients of the type (13) between the  $\omega$ 's, viz.  $\omega_1 + \omega_2 - 2\omega_3 = 0$ , so that, as far as small quantities proportional to  $F$  are concerned, the mechanical system under consideration appears as degenerate (see page 8) and the motion of the electron can be represented by trigonometric series containing only two fundamental frequencies, for instance  $\omega_3$  and  $\nu_F$ . Of these two frequencies  $\omega_3$  differs only little from the frequency of revolution of the electron in a simple Keplerian ellipse corresponding to the motion for  $F = 0$  and for which the values of the  $I$ 's are the same, while  $\nu_F$ , which is a small quantity proportional to  $F$ , may be described as a small frequency which is impressed on the motion of the electron due to the perturbing influence of the external electric field.

It may be of interest to point out how it can be seen from the formulae (69) and (70) in which manner this small frequency plays a part in the deviations of the motion of the electron from a periodic Keplerian motion. First of all it will be seen that the motion of the electron differs at any moment only by small quantities proportional to  $F$  from a Keplerian ellipse with major axis  $\propto I^2$ . Further, taking mean values, over a time interval extending from  $t'$  to  $t' + 1/\omega_3$ , on both sides of the equations (70), we get, denoting the mean values of  $x$ ,  $y$  and  $z$  in this time interval by  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ , and  $\bar{z}$  respectively, and neglecting small terms proportional to  $F$ ,

$$\left. \begin{aligned} \bar{z} &= \frac{3}{2} \alpha I (I_1 - I_2), \\ \bar{x} + i\bar{y} &= \frac{3}{2} \alpha I^2 (\epsilon_1 \epsilon_{23} e^{-2\pi i \nu_F t} + \epsilon_2 \epsilon_{13} e^{2\pi i \nu_F t}), \end{aligned} \right\} \quad (71)$$

where  $t$  denotes some moment within the mentioned time interval. Now the quantities  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  and  $\bar{z}$  have a simple meaning. In fact, since the motion which the electron performs in the time interval  $t' - t' + 1/\omega_3$  differs from the motion in a Keplerian ellipse with major axis  $\propto I^2$  only by small quantities proportional to  $F$ , the quantities  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  and  $\bar{z}$  may with this approximation be said to represent the coordinates of the mean position of the electron in the Keplerian ellipse which it at any moment may be considered to describe. From symmetry it is seen that this mean position, which may be called the "electrical centre" of the orbit, lies at a point on the major axis, and a simple calculation shows that this point lies at a distance  $\frac{3}{2} \epsilon \alpha$  from the nucleus if  $\alpha$  denotes the major axis and  $\epsilon$  the eccentricity.<sup>1)</sup> The formulae (71) therefore show that the Keplerian ellipse which the electron at any moment may be considered to describe varies, under the influence of the electric field, its shape and position in such a way that its electrical centre performs an elliptical harmonic vibration in a plane perpendicular to the  $z$ -axis round the point in which this plane cuts the  $z$ -axis. The major axis and the minor axis of the ellipse which the electrical centre describes are equal to  $3 \alpha I^2 (\epsilon_1 \epsilon_{23} + \epsilon_2 \epsilon_{13})$  and  $3 \alpha I^2 \epsilon_1 \epsilon_{23} - \epsilon_2 \epsilon_{13}$  respec-

<sup>1)</sup> This result follows at once from formula (39) on page 15. Compare also N. BOHR, loc. cit. Part II, page 70.



tively, while the frequency of revolution is proportional to the intensity of the field and equal to  $\omega_F$ . The variation of the plane of the orbit during this motion of the electrical centre may be found by observing that the angular momentum of the electron round the  $z$ -axis will remain constant, from which it follows that the area of the projection of the orbit on the  $x$ - $y$ -plane remains constant. It is easily seen that the plane of the orbit is perpendicular to the plane through the major axis and the  $z$ -axis every time the electrical centre passes one of the apses of the ellipse which it describes. In Part II of Bonn's paper the appearance of the small frequency  $\omega_F$  has been discussed from the point of view of the theory of perturbations.

For the sake of the latter applications it will be of interest to examine the special form which the equations (70) assume when one of the quantities  $I_1$  and  $I_2$  becomes equal to zero. If for instance we assume  $I_2 = 0$ , it will be seen that the fundamental frequency  $\omega_2$  does not appear at all in the motion of the electron. In fact,  $\omega_2$  denotes the mean frequency with which the electron oscillates between two paraboloids of revolution which are characterised by the roots of the integrand in the expression for  $I_2$  given by (45). For  $I_2 = 0$  these roots coincide, so that the amplitude of these oscillations has become equal to zero, which means that the frequency  $\omega_3$  is not at all present in the motion. Introducing the value  $I_2 = 0$  in the equations (70) we have, since in this case, as seen from (62),  $\sigma_2 = \epsilon_2 = 0$ ,  $\epsilon_{13} = 1$ ,  $\epsilon_{23} = \epsilon_3$ ,  $\sigma_1 = \epsilon_1$  and since  $J_1(0) = 1$ ,

$$\left. \begin{aligned} z &= \frac{3}{2} x I I_1 - I^2 \sum_{\tau} \frac{2\epsilon_1}{\tau} J_{\tau}(\tau\epsilon_1) \cos 2\pi\tau\omega_1 t, \\ x + iy &= \frac{3}{2} x I^2 \epsilon_1 \epsilon_3 e^{2\pi i(-\omega_1 + \omega_3)t} - x I^2 \sum_{\tau} \frac{\epsilon_3}{\tau} J_{\tau-1}(\tau\epsilon_1) e^{2\pi i(\tau-1)\omega_1 + \omega_3)t}, \end{aligned} \right\} \quad (72)$$

where the summations are to be extended over all entire values of  $\tau$  except  $\tau = 0$ . The equations (71) representing the motion of the electrical centre become

$$\xi = \frac{3}{2} x I I_1, \quad \zeta + i\eta = \frac{3}{2} x I^2 \epsilon_1 \epsilon_3 e^{-2\pi i \omega_F t},$$

showing that the electrical centre will move in a circle and that the Keplerian ellipse which the electron at any moment may be considered to describe possesses

a constant eccentricity equal to  $\epsilon_1 = \sqrt{\frac{I_1}{I}}$ . The plane of the orbit remains perpendicular to the plane through the major axis and the  $z$ -axis, while it rotates uniformly round the latter axis with frequency  $\omega_F$ . The projection of the orbit on the  $x$ - $y$ -plane is at any moment a circle while the cosine of the angle between the plane of the orbit and the  $z$ -axis is equal to the eccentricity  $\epsilon_1$ . It will be observed that in the present simple case the equations (72) could have been obtained from the expression (39) for the motion of an electron in a Keplerian ellipse by imagining the orbit placed in a position relative to the  $z$ -axis as that just described, and by giving it a uniform rotation of frequency  $\omega_F$  round this axis, applying the same method of calculation as that followed on page 15.

#### § 4. Hydrogen atom under the influence of a weak homogeneous electric field of force.

In this section we shall consider the mechanical problem of the motion of an electron which is subject to the attraction of a positive nucleus of infinite mass as well as to the influence of a weak homogeneous electric field of force, and which moves according to the laws of relativistic mechanics. The general case of this problem in which the intensity of the electric force may have any value so that the deviations of the motion of the electron from a simple Keplerian motion, due to the influence of the relativity modifications in the laws of mechanics, must be considered as being of the same order of magnitude as those due to the electric field will be treated in a later paper which deals with the general problem of the effect of an electric field on the fine structure of the hydrogen lines. In this section we will only consider the special case in which the electric field is so weak that its influence on the motion of the electron is small compared with the influence which is due to the relativity modifications.

Let the nucleus be situated at the origin of a system of rectangular Cartesian coordinates  $x, y, z$ , the  $z$ -axis of which is taken parallel to the direction of the electric force. The mass and charge of the electron will again be denoted by  $m$  and  $-e$  respectively and the charge of the nucleus by  $Ne$ , while the intensity of the electric field will be denoted by  $F$ . Let further  $\lambda$  be a small quantity of the same order of magnitude as the square of the ratio between the velocity of the electron and the velocity of light, and  $f$  a small quantity of the same order of magnitude as the ratio between  $eF$  and the forces which the nucleus exerts on the electron. We shall according to the above assume that  $f$  is small compared to  $\lambda$ , and it will be our purpose to solve the equations of motion retaining only small quantities of the same order as  $\lambda$  and  $f\lambda$ , and neglecting all quantities of higher order of magnitude such as  $f, \lambda^2$  etc. in the expressions for the coordinates  $x, y, z$  of the electron as functions of the time.

Let us introduce polar coordinates  $r, \vartheta, \varphi$ , which in the well known way are connected with  $x, y, z$  by the formulae

$$z = r \cos \vartheta, \quad x + iy = r \sin \vartheta e^{i\varphi}.$$

The velocity  $v$  of the electron will then be given by  $v^2 = (dr/dt)^2 + r^2(d\vartheta/dt)^2 + r^2 \sin^2 \vartheta (d\varphi/dt)^2$ . Introducing the notation  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$  where  $c$  is the velocity of light, the canonically conjugated momenta of  $r, \vartheta, \varphi$  are given by

$$p_r = m\gamma \frac{dr}{dt}, \quad p_\vartheta = m\gamma r^2 \frac{d\vartheta}{dt}, \quad p_\varphi = m\gamma r^2 \sin^2 \vartheta \frac{d\varphi}{dt},$$

and the equations of motion will be of the canonical form (2) where the energy  $E$ , expressed as a function of the coordinates and momenta, will be given by<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Compare for instance A. SOMMERFELD, Phys. Zeitschr. XVII, p. 506 (1916). See also § 2, page 11.

$$E = mc^2 \left[ \left\{ 1 + \frac{1}{m^2 c^2} \left( p_r^2 + \frac{1}{r^2} p_\theta^2 + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} p_\varphi^2 \right) \right\}^{1/2} - 1 \right] - \frac{Ne^2}{r} + Fer \cos \theta.$$

Proceeding in the same way as in § 2 and in § 3 we get for the Hamilton Jacobi partial differential equation

$$a_1 = mc^2 \left[ \left\{ 1 + \frac{1}{m^2 c^2} \left( \left( \frac{\partial S}{\partial r} \right)^2 + \frac{1}{r^2} \left( \frac{\partial S}{\partial \theta} \right)^2 + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \left( \frac{\partial S}{\partial \varphi} \right)^2 \right) \right\}^{1/2} - 1 \right] - \frac{Ne^2}{r} + Fer \cos \theta, \quad (73)$$

where  $S$  denotes a function of  $r, \theta, \varphi$ . This equation does not allow of separation of variables, but we will solve the equations of motion by method of approximation, by solving them first for  $F = 0$  and after that considering the perturbing influence which is due to the electric force. For  $F = 0$ , however, the problem is the same as that which we have treated in § 2 with the only difference that this time we consider the motion of the electron in space, and equation (73) is seen to allow of separation of variables. In fact, we may put

$$\frac{\partial S}{\partial r} = \sqrt{F(r)}, \quad \frac{\partial S}{\partial \theta} = \sqrt{a_2^2 - \frac{a_3^2}{\sin^2 \theta}}, \quad \frac{\partial S}{\partial \varphi} = a_3, \quad (74)$$

where  $F(r)$  has the same signification as in (22). We may now introduce the quantities  $I_1, I_2, I_3$ :

$$I_1 = \int \sqrt{F(r)} dr, \quad I_2 = \int \sqrt{a_2^2 - \frac{a_3^2}{\sin^2 \theta}} d\theta, \quad I_3 = \int a_3 d\varphi, \quad (75)$$

where in the first and in the second integral the integration is to be extended twice between the roots of the integrand. It is easily seen that  $I_3/2\pi$  is equal to the angular momentum of the electron round the  $z$ -axis, while  $(I_2 + I_3)/2\pi$  is equal to the total angular momentum round the nucleus and plays the same part as the quantity  $I_2/2\pi$  in § 2. The plane in which the motion takes place makes an angle with the  $x-y$ -plane the cosine of which is equal to  $\frac{I_3}{I_2 + I_3}$ . The energy  $a_1$  of the system expressed as a function of the  $I$ 's contains  $I_2$  and  $I_3$  only in the combination  $I_2 + I_3$  and is with neglect of small quantities of the same order as  $k^2$  given by the expression (24) in § 2, with the only difference that  $I_2$  is replaced by  $I_2 + I_3$ . This gives

$$a_1 = -\frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{I^3} \left( 1 + \left( \frac{\pi Ne^2}{c} \right)^2 \left( -\frac{3}{I^3} + \frac{4}{I(I_2 + I_3)} \right) \right), \quad (76)$$

where  $I$  is written as an abbreviation for  $I_1 + I_2 + I_3$ . By means of (75) also  $a_2$  and  $a_3$  may be expressed as functions of the  $I$ 's, so that  $\frac{\partial S}{\partial r}, \frac{\partial S}{\partial \theta}$  and  $\frac{\partial S}{\partial \varphi}$  may be expressed as functions of the  $I$ 's and of  $r, \theta$  and  $\varphi$  respectively. Introducing the expressions thus obtained in

$$S(r, \theta, \varphi; I_1, I_2, I_3) = \int \frac{\partial S}{\partial r} dr + \int \frac{\partial S}{\partial \theta} d\theta + \int \frac{\partial S}{\partial \varphi} d\varphi,$$

which is a complete solution of equation (73) for  $F = 0$ , we may according to § 1 calculate the variables which are canonically conjugated to  $I_1, I_2, I_3$  by means of the formulae

$$w_1 = \frac{\partial S}{\partial I_1}, \quad w_2 = \frac{\partial S}{\partial I_2}, \quad w_3 = \frac{\partial S}{\partial I_3}.$$

The coordinates and momenta of the electron considered as functions of the  $I$ 's and  $w$ 's are periodic in each of the  $w$ 's with period 1. The rectangular coordinates  $x, y, z$  of the electron may therefore be expressed by trigonometric series of the form  $\sum C_{\tau_1, \tau_2, \tau_3} e^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2 + \tau_3 w_3)}$ , where the coefficients  $C_{\tau_1, \tau_2, \tau_3}$  depend on the  $I$ 's only and where the summation is to be extended over all positive and negative entire values of the  $\tau$ 's. The values of the  $C$ 's may be calculated by means of the general method exposed in § 1. We will, however, not enter on these calculations because they are entirely analogous to those performed in § 2 and in § 3 and because the result may be directly deduced from formula (42). They give that the trigonometric series for  $z$  and  $x + iy$  are of the form

$$\left. \begin{aligned} z &= \sum D_{\tau} \cos 2\pi(\tau - 1w_1 + w_2), \\ x + iy &= \sum D'_{\tau} e^{2\pi i(\tau - 1w_1 + w_2)} - \sum D''_{\tau} e^{2\pi i(\tau + 1w_1 - 2w_2 + w_3)}, \end{aligned} \right\} \quad (77)$$

where the summations are to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau$ , and where the coefficients  $D_{\tau}, D'_{\tau}, D''_{\tau}$  with neglect of small quantities of the same order of  $\lambda$  are given by the expressions

$$\left. \begin{aligned} D_{\tau} &= -\kappa I^2 \frac{\mu}{2\tau} \left\{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\}, \quad D_0 = \frac{3}{2} \varepsilon \mu \kappa I^2, \\ D'_{\tau} &= -\kappa I^2 \frac{1 + \mu'}{4\tau} \left\{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\}, \quad D'_0 = \frac{3}{4} \varepsilon (1 + \mu') \kappa I^2, \\ D''_{\tau} &= -\kappa I^2 \frac{1 - \mu'}{4\tau} \left\{ (1 - \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 + \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\}, \quad D''_0 = \frac{3}{4} \varepsilon (1 - \mu') \kappa I^2, \end{aligned} \right\} \quad (78)$$

where

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon' &= \frac{I_2 + I_3}{I}, & \varepsilon &= \sqrt{1 - \varepsilon'^2}, \\ \mu' &= \frac{I_3}{I_2 + I_3}, & \mu &= \sqrt{1 - \mu'^2}, \end{aligned} \right\} \quad (79)$$

while  $J_p(x)$  represents the value of the Bessel coefficient of argument  $x$  and of order  $p$ . The formulae (77) and (78) are actually seen to coincide with the formulae (42), deduced in connection with the problem of the influence of a small magnetic force parallel to the  $z$ -axis, if in these formulae we replace  $\omega_1 t, \omega_2 t, \omega_3 t$  by  $w_1, w_2, w_3$  respectively. A simple consideration would show that this is just what must be expected.

As long as we assume that  $F = 0$ , i. e. that we have to do with the system in its undisturbed state, the motion of the electron is directly given by (77) if we consider the  $I$ 's as constants and for  $w_1, w_2, w_3$  substitute their expressions as linear functions of the time by means of the formulae

$$w_k = \omega_k t + \delta_k, \quad \omega_k = \frac{dw_k}{dt} = \frac{\partial E^0}{\partial I_k}, \quad (k = 1, 2, 3) \quad (80)$$

where we have denoted by  $E^0$  the energy of the undisturbed system expressed as a function of the  $I$ 's, which is given by the expression (76) for  $a_1$ . Since this expression contains  $I_2$  and  $I_3$  only in the combination  $I_2 + I_3$ ,  $\omega_2$  will be equal to  $\omega_3$ , which means that the system is degenerate as it was already mentioned in § 2. If we assume, however, that  $F$  is no longer equal to zero the motion of the system will be perturbed; the coordinates  $x, y, z$  of the electron may still be expressed as a function of the  $I$ 's and the  $w$ 's by means of (77), but the  $I$ 's will no more be constant during the motion and the  $w$ 's will no more be linear functions of the time. The rates of variation with the time of the  $I$ 's and  $w$ 's will according to Jacobi's fundamental theorem, mentioned in § 1, be represented by a set of canonical equations

$$\frac{dI_k}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial w_k}, \quad \frac{dw_k}{dt} = \frac{\partial E}{\partial I_k}, \quad (k = 1, 2, 3) \quad (81)$$

where  $E$  is the total energy of the perturbed system expressed as a function of the  $I$ 's and  $w$ 's. We may write  $E$  in the form

$$E = E^0 + E^1,$$

where  $E^0$  is the energy which the system would possess if the perturbing forces vanished suddenly and which, as mentioned, depends on the  $I$ 's only, being given by the expression (76) for  $a_1$ , while  $E^1$  is the so called "perturbing potential", i. e. that part of the potential energy of the system which is due to the perturbing force, and which corresponds to the term  $F e r \cos \vartheta$  in (73). By means of (77) we find for  $E^1$ , expressed as a function of the  $I$ 's and  $w$ 's,

$$E^1 = F e z = F e \Sigma D_r \cos 2\pi(\tau - 1 w_1 + w_2), \quad (82)$$

where the quantities  $D_r$  with neglect of small quantities of the order  $\lambda$  are given by (78).

Owing to the fact that the trigonometric series for  $E^1$  does not contain a term which is independent of the  $w$ 's, we may simply proceed in the calculation of the perturbations in the following way<sup>1)</sup>, by putting

$$I_k = I_k^0 + I_k^1, \quad w_k = w_k^0 + w_k^1, \quad (k = 1, 2, 3) \quad (83)$$

where  $I_k^0, w_k^0$  represent the solutions of the equations (81) for  $F = 0$ , and where  $I_k^1$  and  $w_k^1$  contain only small quantities proportional to  $F$  and to higher powers of  $F$ . For  $I_k^0$  and  $w_k^0$  we have

<sup>1)</sup> It may be observed that, by applying to the quantities  $I_k$  and  $w_k$  a so called infinitesimal contact transformation, the results of the following considerations contained in the formulae (85) and (86) might have been deduced in a way which, from an analytical point of view, is more elegant. Compare J. M. BURGERS, Het atoommodel van Rutherford-Bohr (Haarlem, 1918), where a treatment of this kind has been used in the discussion of a number of problems concerning perturbed atomic motions



$$I_k^0 = \text{constant}, \quad w_k^0 = \omega_k t + \delta_k, \quad \omega_k = \left( \frac{\partial E^0}{\partial I_k} \right)_0, \quad (k = 1, 2, 3) \quad (84)$$

where we have denoted by  $\left( \frac{\partial E^0}{\partial I_k} \right)_0$  the value of  $\frac{\partial E^0}{\partial I_k}$ , obtained by introducing for  $I_1, I_2, I_3$  the values  $I_1^0, I_2^0, I_3^0$  respectively. In order to find the  $I$ 's and  $w$ 's let us first consider the first three of the equations (81). As  $E^0$  does not depend on the  $w$ 's they may be written in the form

$$\frac{dI_k^1}{dt} = - \frac{\partial E^1}{\partial w_k}, \quad (k = 1, 2, 3)$$

The right sides of these equations are, as seen from (82), functions of the  $I$ 's and  $w$ 's, but if in the calculation of the  $I$ 's we neglect second and higher powers of  $F$  we may for the  $I$ 's and  $w$ 's introduce the values for  $I_k^0$  and  $w_k^0$  given by (84), so that the differential coefficients  $\frac{dI_k^1}{dt}$  become equal to known functions of the time. Neglecting for simplicity, here as well as in the following, the constants  $\delta_k$  appearing in (84), this gives

$$\begin{aligned} \frac{dI_1^1}{dt} &= 2\pi eF \Sigma (\tau - 1) D_\tau^0 \sin 2\pi(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t, \\ \frac{dI_2^1}{dt} &= 2\pi eF \Sigma D_\tau^0 \sin 2\pi(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t, \\ \frac{dI_3^1}{dt} &= 0, \end{aligned}$$

where the quantities  $D_\tau^0$  denote the expressions obtained by replacing in the quantities  $D_\tau$  the  $I$ 's by the  $I^0$ 's. These equations may be directly integrated and give, if the arbitrary constants are chosen such that in the expressions for the  $I$ 's no constant terms appear,

$$\left. \begin{aligned} I_1^1 &= -eF \Sigma \frac{(\tau - 1) D_\tau^0}{\tau - 1\omega_1 + \omega_2} \cos 2\pi(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t, \\ I_2^1 &= -eF \Sigma \frac{D_\tau^0}{\tau - 1\omega_1 + \omega_2} \cos 2\pi(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t, \\ I_3^1 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (85)$$

Among the terms on the right side of each of these equations the term corresponding to  $\tau = 0$  is much larger than the other terms because for  $\tau = 0$  the denominator  $(\tau - 1)\omega_1 + \omega_2$  becomes equal to  $-\omega_1 + \omega_2$ , and this quantity, which will be denoted by  $\nu$ , is a small quantity of the order  $\lambda$ . In fact, from (84) and (76) we have

$$\nu = -\omega_1 + \omega_2 = -\left( \frac{\partial E^0}{\partial I_1} \right)_0 + \left( \frac{\partial E^0}{\partial I_2} \right)_0 = \frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{I^{\circ 2}} \left( \frac{\pi N e^2}{c} \right)^2 \frac{4}{I^{\circ}(I_2^0 + I_3^0)^2}. \quad (86)$$

The term in (85) corresponding to  $\tau = 0$  becomes therefore of the order  $f/\lambda$ , and we may according to what has been said in the beginning of this section neglect

the other terms in (85) which are of the order  $f$ , so that we get

$$\left. \begin{aligned} I_1^1 &= eF \frac{D_0^0}{0} \cos 2\pi(-\omega_1 + \omega_2)t \\ I_2^0 &= -eF \frac{D_0^0}{0} \cos 2\pi(-\omega_1 + \omega_2)t \\ I_3^1 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (87)$$

It is seen that  $I_1^1 + I_2^1 = 0$  as far as small quantities of the order  $f$  are concerned. As a consequence of this the value of the "inner" energy  $E^0$ , which during the perturbations will perform small oscillations, will yet remain constant as far as small quantities of this order are concerned. That this must be the case might have been seen directly from general considerations. It is further easily seen by means of (85) that the amplitudes of the oscillations which  $E^0$  performs, will be small quantities of the order  $f$ , but that the total energy  $E = E^0 + E^1$ , which is constant during the motion, will, as far as small quantities of the order  $f$  are concerned, depend on  $I_1^0$ ,  $I_2^0$  and  $I_3^0$  only, in a way which is exactly the same as that in which  $E^0$  depends on  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , expressed by (76) if we take  $\alpha_1 = E^0$ .

We will now calculate expressions for the  $w$ 's by means of the last three of the equations (81). They give, if we neglect small quantities proportional to  $F^2$ ,

$$\frac{d(w_k^0 + w_k^1)}{dt} = \frac{\partial(E^0 + E^1)}{\partial I_k} = \frac{\partial E^0}{\partial I_k} + \frac{\partial E^1}{\partial I_k} = \left( \frac{\partial E^0}{\partial I_k} \right)_0 + \sum \frac{\partial^2 E^0}{\partial I_k \partial I_r} I_r^1 + \frac{\partial E^1}{\partial I_k},$$

where  $\left( \frac{\partial E^0}{\partial I_k} \right)_0$  has the same significations as in (84) and where the summation is to be extended over  $r = 1, 2, 3$ . As  $\frac{dw_k^0}{dt} = \omega_k = \left( \frac{\partial E^0}{\partial I_k} \right)_0$ , this equation gives

$$\frac{dw_k^1}{dt} = \sum_r \frac{\partial^2 E^0}{\partial I_k \partial I_r} I_r^1 + \frac{\partial E^1}{\partial I_k} \quad (k = 1, 2, 3)$$

It is seen that the terms on the right side are functions of the  $I$ 's and the  $w$ 's, which may be written as trigonometric series all terms of which contain the factor  $F$ . In these series we may again replace the  $I$ 's and the  $w$ 's by the  $I^0$ 's and  $w^0$ 's, given by (84) as functions of the time, and with reference to the corresponding calculation for the  $I$ 's it is only necessary to keep the periodic terms of frequency  $-\omega_1 - \omega_2 = 0$ . This gives, making use of the fact that  $I_1^1 + I_2^1$  as given by (87) is equal to zero,

$$\begin{aligned} \frac{dw_k^1}{dt} &= \sum_r \frac{\partial \omega_r}{\partial I_k^0} I_r^1 + eF \sum \frac{\partial D_r^0}{\partial I_k^0} \cos 2\pi(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t \\ &= \frac{\partial(\omega_1 - \omega_2)}{\partial I_k^0} I_1^1 + eF \frac{\partial D_0^0}{\partial I_k^0} \cos 2\pi(-\omega_1 + \omega_2)t \\ &\quad + eF \left( \frac{\partial \omega}{\partial I_k^0} \frac{D_0^0}{0} + \frac{\partial D_0^0}{\partial I_k^0} \right) \cos 2\pi(-\omega_1 + \omega_2)t = eF \frac{\partial}{\partial I_k^0} \left( \frac{D_0^0}{0} \right) \cos 2\pi(-\omega_1 + \omega_2)t \end{aligned}$$

Integrating and choosing the integration constants such that the  $w^1$ 's do not contain constant terms, we get

$$w_k^1 = \frac{eF}{2\pi} \frac{\partial}{\partial I_k^0} \left( \frac{D_k^0}{0} \right) \sin 2\pi(-\omega_1 + \omega_2)t. \quad (k = 1, 2, 3) \quad (88)$$

The frequency  $\nu$  given by (86) is easily seen to represent the frequency of the slow rotation of the Keplerian orbit which the electron at any moment may be considered to describe (compare page 10). The appearance of this small frequency  $\nu$  in the denominators in the expressions on the right side of (87) and (88) may physically be interpreted by observing that the deviation of the undisturbed orbit from a periodic orbit, which is characterised by this frequency, is small, so that even a small external force is sufficient to produce large changes in the character of these deviations.

In order to find now for the perturbed motion the expressions for the coordinates  $x, y, z$  of the electron as a function of the time, with the approximation mentioned on page 26, we shall put

$$x = x^0 + x^1, \quad y = y^0 + y^1, \quad z = z^0 + z^1, \quad (89)$$

where  $x^0, y^0$  and  $z^0$  represent the values of these functions for  $F = 0$ , while  $x^1, y^1$  and  $z^1$  are small quantities of the order  $f/\lambda$ . From (77) and (84) we find for  $x^0, y^0$  and  $z^0$

$$\left. \begin{aligned} z^0 &= \Sigma D_r^0 \cos 2\pi(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t, \\ x^0 + iy^0 &= \Sigma D_r^0 e^{2\pi i(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t} + \Sigma D_r^0 e^{2\pi i(\tau + 1\omega_1 - 2\omega_2 + \omega_3)t}, \end{aligned} \right\} \quad (90)$$

The quantities  $x^1, y^1$  and  $z^1$  will be given by

$$\left. \begin{aligned} z^1 &= \frac{\gamma}{k} \left( \frac{\partial z}{\partial I_k} \right)_0 I_k^1 + \frac{\gamma}{k} \left( \frac{\partial z}{\partial w_k} \right)_0 w_k^1, \\ x^1 + iy^1 &= \frac{\gamma}{k} \left( \frac{\partial(x+iy)}{\partial I_k} \right)_0 I_k^1 + \frac{\gamma}{k} \left( \frac{\partial(x+iy)}{\partial w_k} \right)_0 w_k^1, \end{aligned} \right\} \quad (91)$$

where the summations are to be extended over  $k = 1, 2, 3$  and where the  $I_k^1$ 's and  $w_k^1$ 's are the functions of  $t$  given by (87) and (88), while the quantities  $\left( \frac{\partial z}{\partial I_k} \right)_0, \left( \frac{\partial z}{\partial w_k} \right)_0, \left( \frac{\partial(x+iy)}{\partial I_k} \right)_0, \left( \frac{\partial(x+iy)}{\partial w_k} \right)_0$  are functions of  $t$  obtained by first differentiating the expressions for  $z$  and  $x+iy$  given by (77), and by replacing in the expressions thus obtained the  $I$ 's by the constants  $I_k^0$  and the  $w$ 's by  $w_k^0 = \omega_k t$ .

It is seen from (91) that for  $z^1$  and  $x^1 + iy^1$  we obtain expressions in the form of trigonometric series. While in the series for  $z^0$  the frequencies corresponding to the single terms were of the form  $|\tau - 1\omega_1 + \omega_2|$ , they will for  $z^1$  be of the form  $|\tau - 1\omega_1 + \omega_2| \pm (-\omega_1 + \omega_2)$ , so that there appear, owing to the perturbing force, new frequencies in the motion of the electron parallel to the direction of the electric force, the amplitudes of which are of the order  $f/\lambda$ , and the frequencies of which are of the form  $a\omega_1, a - 2\omega_1 + 2\omega_2$  and  $a + 2\omega_1 - 2\omega_2$ , where  $a$  is a positive integer. As regards the motion perpendicular to the direction of the perturbing field, we see that, while  $x^0 + iy^0$  contained only terms of frequencies  $|\tau - 1\omega_1 + \omega_2|$  and  $|\tau + 1\omega_1 - 2\omega_2 + \omega_3|$ ,  $x^1 + iy^1$  contains terms of frequencies  $|\tau - 1\omega_1 + \omega_2|$

$\pm(-\omega_1 + \omega_3)$  and  $(\tau + 1\omega_1 - 2\omega_2 + \omega_3) \pm (-\omega_1 + \omega_2)$ , so that in this motion there appear new frequencies of the form  $a - 2\omega_1 + \omega_2 + \omega_3$ ,  $a + 2\omega_1 - \omega_2 - \omega_3$ ,  $a\omega_1 - \omega_2 + \omega_3$ ,  $a\omega_1 + \omega_2 - \omega_3$ ,  $a + 2\omega_1 - 3\omega_1 + \omega_3$  and  $a - 2\omega_1 + 3\omega_2 - \omega_3$ , where  $a$  is again a positive integer. Since the quantities  $\omega_2$  and  $\omega_3$  appearing in the calculations do not differ from each other as far as small quantities proportional to  $F$  are concerned, we see that the motion of the perturbed system under consideration with the approximation in question may still be represented as a sum of harmonic vibrations the frequencies of which are built up of only two fundamental frequencies  $\omega_1$  and  $\omega_2$ . In the undisturbed system appeared only frequencies  $a - 1\omega_1 + \omega_2$ ,  $a + 1\omega_1 - \omega_2$ ; in the perturbed system appear the new frequencies  $a - 2\omega_1 + 2\omega_2$ ,  $a\omega_1$ ,  $a + 2\omega_1 - 2\omega_2$ . The new frequencies are seen to be equal to the sum or to the difference of two of the frequencies appearing in the motion of the undisturbed system, and correspond to the sum-tones and difference-tones in acoustics. [That to the first approximation only sums and differences and not other linear combinations of the original frequencies appear, lies in the circumstance that the perturbing field is homogeneous, so that its potential is a linear function of the Cartesian coordinates of the electron.<sup>1)</sup> In fact, as a consequence of this the quantities  $I^1$  and  $w^1$  appearing in (91) contain according to (81) only frequencies which appear also in the undisturbed motion of the electron. The same is the case for the quantities  $\left(\frac{\partial z}{\partial I_1}\right)_0, \dots$  in (91), so that the new frequencies in the perturbed motion can only be sums or differences of frequencies occurring in the undisturbed motion.]

Although with the approximation mentioned  $\omega_2$  and  $\omega_3$  do not differ from each other, the fact that they are not identical will nevertheless be essential for the description of the motion over a time interval of the same order as  $\lambda/\tau^2$  (compare note on page 79). For sake of the applications in § 7 we shall therefore keep  $\omega_2$  and  $\omega_3$  separated in the following formulæ, what, as it will be discussed more closely in the paper mentioned on page 26, will be justified on account of the special character of the system under consideration.

Let us now proceed to the explicit calculation of the trigonometric series for  $z^1$  and for  $x^1 + iy^1$ . For  $z^1$  we get from (91), (88), (87) and (77), omitting in the calculations for the sake of simplicity, here as well as in the following, the index  $(\tau)$  in  $I_1^0$ ,  $I_2^0$ ,  $I_3^0$  and in  $D_1^0$ ,

$$\begin{aligned} z^1 = & \frac{eF}{v} \left[ \left( \frac{\partial D_\tau}{\partial I_1} - \frac{\partial D_\tau}{\partial I_2} \right) D_0 \cos 2\pi(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t \cos 2\pi(-\omega_1 + \omega_2)t \right. \\ & \left. - \Sigma v D_\tau \left( \left( \tau - 1 \frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{v} \right) + \frac{\partial}{\partial I_2} \left( \frac{D_0}{v} \right) \right) \sin 2\pi(\tau - 1\omega_1 + \omega_2)t \sin 2\pi(-\omega_1 + \omega_2)t \right] \right. \\ & \left. \frac{eF}{2v} \Sigma \left[ \left( \frac{\partial D_\tau}{\partial I_1} - \frac{\partial D_\tau}{\partial I_2} \right) D_0 - v D_\tau \left( \left( \tau - 1 \frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{v} \right) - \frac{\partial}{\partial I_2} \left( \frac{D_0}{v} \right) \right) \right] \cos 2\pi(\tau - 2\omega_1 - 2\omega_2)t \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{eF}{2v} \Sigma \left[ \left( \frac{\partial D_\tau}{\partial I_1} - \frac{\partial D_\tau}{\partial I_2} \right) D_0 - v D_\tau \left( \left( \tau - 1 \frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{v} \right) - \frac{\partial}{\partial I_2} \left( \frac{D_0}{v} \right) \right) \right] \cos 2\pi\tau\omega_1 t, \right. \right. \end{aligned} \quad (92)$$

<sup>1)</sup> Compare BOHR, loc. cit. Part I, p. 36.

where the summations are to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau$  including zero. Now from (78) and (86) we find by means of elementary calculations, omitting, here as well as in the following, for the sake of simplicity the argument  $\tau\epsilon$  of the Bessel coefficients,

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial D_\tau}{\partial I_1} - \frac{\partial D_\tau}{\partial I_2} &= x I \frac{\mu^2}{2\tau\epsilon^2} \{ (1+\epsilon')(1-\tau\epsilon'^2)J_{\tau-1} + (1-\epsilon')(1+\tau\epsilon'^2)J_{\tau+1} \} \\ &\quad + x I \frac{\mu'^2}{2\tau\mu\epsilon'} \{ (1+\epsilon')J_{\tau-1} - (1-\epsilon')J_{\tau+1} \}, \\ {}^0\frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{0} \right) &= \frac{3}{2} x I \mu' \frac{1+\epsilon^2}{\epsilon}, \quad {}^0\left( -\frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{0} \right) + \frac{\partial}{\partial I_2} \left( \frac{D_0}{0} \right) \right) = \frac{3}{2} x I - \epsilon'^2 + \frac{\mu'^2}{\mu\epsilon\epsilon'} + 2\epsilon'^2\mu^2. \end{aligned} \right\} \quad (93)$$

Introducing these values in (92) we find after some simple reductions

$$\begin{aligned} z^1 &= \frac{3eFx^2I^3}{4v} \left[ \Sigma \frac{\mu^2}{2\tau\epsilon\epsilon'} \cdot \right. \\ &\cdot \{ (1+\epsilon')((1+\epsilon')(3\epsilon'-2) - \tau\epsilon'(5-3\epsilon'^2))J_{\tau-1} + (1-\epsilon')((1-\epsilon')(3\epsilon'+2) + \tau\epsilon'(5-3\epsilon'^2))J_{\tau+1} \} \\ &\cdot \cos 2\pi(\tau-2\omega_1+2\omega_2)t \\ &\left. + \Sigma \frac{\epsilon}{2\tau\epsilon'} \{ (\epsilon'^2\mu^2 + (1+\epsilon')(2+5\tau\epsilon'\mu^2))J_{\tau-1} + (\epsilon'\mu^2 - (1-\epsilon')(2+5\tau\epsilon'\mu^2))J_{\tau+1} \} \cos 2\pi\omega_1 t \right]. \end{aligned}$$

The expressions for the coefficients become undefined for  $\tau=0$ , but by directly introducing  $\tau=0$  in (92) we find that the coefficient to  $\cos 2\pi(-2\omega_1+2\omega_2)t$  is equal to  $\frac{3\epsilon^2\mu^2}{\epsilon'}$ , while the constant term in the second series becomes equal to  $\frac{3(-\epsilon^2+\epsilon'^2\mu^2)}{\epsilon'}$ .

Further it will be observed that in the second series the terms corresponding to values of  $\tau$ , which are numerically equal but of opposite sign, may be taken together, so that we finally get for  $z^1$

$$\left. \begin{aligned} z^1 &= \frac{3eFx^2I^0}{4v} \left[ \frac{3\epsilon^2\mu^2}{\epsilon'} \cos 2\pi(-2\omega_1+2\omega_2)t + \Sigma \frac{\mu^2}{2\tau\epsilon\epsilon'} \cdot \right. \\ &\cdot \{ (1+\epsilon')((1+\epsilon')(3\epsilon'-2) - \tau\epsilon'(5-3\epsilon'^2))J_{\tau-1}(\tau\epsilon) + (1-\epsilon')((1-\epsilon')(3\epsilon'+2) + \tau\epsilon'(5-3\epsilon'^2))J_{\tau+1}(\tau\epsilon) \} \\ &\cdot \cos 2\pi(-2\omega_1+2\omega_2)t \\ &\left. + \frac{3(-\epsilon^2+\epsilon'^2\mu^2)}{\epsilon'} + \Sigma \frac{\epsilon}{\tau\epsilon'} \{ (2+5\mu^2\epsilon'^2\tau)J_{\tau-1}(\tau\epsilon) + (-2+5\mu^2\epsilon'^2\tau)J_{\tau+1}(\tau\epsilon) \} \cos 2\pi\omega_1 t \right], \end{aligned} \right\} \quad (94)$$

where

$$I^1 = I_1^0 + I_2^0 + I_3^0, \quad \epsilon' = \frac{I_2^0 + I_3^0}{I_1^0}, \quad \epsilon = \sqrt{1-\epsilon'^2}, \quad \mu' = \frac{I_3^0}{I_2^0 + I_3^0}, \quad \mu = \sqrt{1-\mu'^2},$$

and where in the first series the summation is to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau$  except  $\tau=0$ , and in the second series only over all positive entire values of  $\tau$  except  $\tau=0$ .

By a calculation quite analogous to that for  $z^1$  we may from (91), (88), (87) and (77) deduce similar expressions for  $x^1 + iy^1$ . Thus we find



$$\begin{aligned}
x^1 + iy^1 = & \frac{eF}{2v} \left[ \Sigma' \left\{ \left( \frac{\partial D'_\tau}{\partial I_1} - \frac{\partial D'_\tau}{\partial I_2} \right) D_0 + v D'_\tau \left( \tau - 1 \frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{v} \right) + \frac{\partial}{\partial I_3} \left( \frac{D_0}{v} \right) \right) \right\} e^{2\pi i(\tau-2\omega_1+\omega_2+\omega_3)t} \right. \\
& - \Sigma' \left\{ \left( \frac{\partial D''_\tau}{\partial I_1} - \frac{\partial D''_\tau}{\partial I_2} \right) D_0 - v D''_\tau \left( \tau + 1 \frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{v} \right) - 2 \frac{\partial}{\partial I_2} \left( \frac{D_0}{v} \right) + \frac{\partial}{\partial I_3} \left( \frac{D_0}{v} \right) \right) \right\} e^{2\pi i(\tau+2\omega_1-3\omega_2+\omega_3)t} \\
& - \Sigma' \left\{ \left( \frac{\partial(D'_\tau - D''_\tau)}{\partial I_1} - \frac{\partial(D'_\tau - D''_\tau)}{\partial I_2} \right) D_0 - v D'_\tau \left( \tau - 1 \frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{v} \right) + \frac{\partial}{\partial I_3} \left( \frac{D_0}{v} \right) \right) \right. \\
& \left. \left. - v D''_\tau \left( \tau + 1 \frac{\partial}{\partial I_1} \left( \frac{D_0}{v} \right) - 2 \frac{\partial}{\partial I_2} \left( \frac{D_0}{v} \right) + \frac{\partial}{\partial I_3} \left( \frac{D_0}{v} \right) \right) \right\} e^{2\pi i(\tau-\omega_1-\omega_2-\omega_3)t} \right]. \quad (95)
\end{aligned}$$

From (78) we obtain

$$\begin{aligned}
\frac{\partial D'_\tau}{\partial I_1} - \frac{\partial D'_\tau}{\partial I_2} &= -xI \frac{1+\mu'}{4\tau\varepsilon^2} \{ (1+\varepsilon')(1-\tau\varepsilon'^2)J_{\tau-1} + (1-\varepsilon')(1+\tau\varepsilon'^2)J_{\tau+1} \} - \\
&\quad - xI \frac{\mu'}{4\tau\varepsilon'} \{ (1+\varepsilon')J_{\tau-1} - (1-\varepsilon')J_{\tau+1} \}, \\
\frac{\partial D''_\tau}{\partial I_1} - \frac{\partial D''_\tau}{\partial I_2} &= xI \frac{1-\mu'}{4\tau\varepsilon^2} \{ (1+\varepsilon')(1-\tau\varepsilon'^2)J_{\tau-1} + (1+\varepsilon')(1+\tau\varepsilon'^2)J_{\tau+1} \} + \\
&\quad + xI \frac{\mu'}{4\tau\varepsilon'} \{ (1-\varepsilon')J_{\tau-1} - (1+\varepsilon')J_{\tau+1} \}, \\
v \left( -\frac{\partial}{\partial I_2} \left( \frac{D_0}{v} \right) + \frac{\partial}{\partial I_3} \left( \frac{D_0}{v} \right) \right) &= -\frac{3}{2} xI \frac{\varepsilon\mu'}{\varepsilon'\mu}.
\end{aligned}$$

By means of these relations and of (93), (95) may be reduced to

$$\begin{aligned}
x^1 + iy^1 = & \frac{3eFx^2I^0}{4v} \left[ \frac{3(1+\mu')\mu\varepsilon^2}{2\varepsilon'} e^{2\pi i(-2\omega_1+\omega_2+\omega_3)t} \right. \\
& + \Sigma' \frac{\mu(1+\mu')}{4\tau\varepsilon\varepsilon'} \{ (1+\varepsilon')((1+\varepsilon')(3\varepsilon'-2) - \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2))J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) \\
& + (1-\varepsilon')((1-\varepsilon')(3\varepsilon'+2) + \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2))J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \} e^{2\pi i(\tau-2\omega_1+\omega_2+\omega_3)t} \\
& - \frac{3(1-\mu')\mu\varepsilon^2}{2\varepsilon'} e^{2\pi i(2\omega_1-3\omega_2+\omega_3)t} \\
& - \Sigma' \frac{\mu(1-\mu')}{4\tau\varepsilon\varepsilon'} \{ (1-\varepsilon')((1-\varepsilon')(3\varepsilon'+2) - \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2))J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) \\
& + (1+\varepsilon')((1+\varepsilon')(3\varepsilon'-2) + \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2))J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \} e^{2\pi i(\tau+2\omega_1-3\omega_2+\omega_3)t} \\
& \left. + 3\mu\mu'\varepsilon' e^{2\pi i(-\omega_2+\omega_3)t} \right. \\
& \left. + \Sigma' \frac{\mu\varepsilon}{2\varepsilon'} \{ (3+5\tau(1+\varepsilon'\mu'))J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) + (3-5\tau(1-\varepsilon'\mu'))J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \} e^{2\pi i(\tau\omega_1-\omega_2+\omega_3)t} \right], \quad (96)
\end{aligned}$$

where the summations are to be extended over all positive and negative entire values of  $\tau$  except  $\tau = 0$ , and where  $I^0$ ,  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon'$ ,  $\mu$  and  $\mu'$  have the same signification as in (94).

In the special case where the undisturbed orbit is circular, i. e.  $\varepsilon' = 1$ ,  $\varepsilon = 0$ , the formulae (94) and (96) assume the simple form

$$\left. \begin{aligned} z^1 &= \frac{3eF\kappa^2 I^0{}^3}{4v} (3\mu^2 - \mu^2 \cos 2\pi 2\omega_2 t), \\ x^1 + iy^1 &= \frac{3eF\kappa^2 I^0{}^3}{4v} \left( 3\mu\mu' e^{2\pi i(-\omega_2 + \omega_2)t} - \frac{\mu(1+\mu')}{2} e^{2\pi i(\omega_2 + \omega_2)t} + \frac{\mu(1-\mu')}{2} e^{2\pi i(-3\omega_2 + \omega_2)t} \right). \end{aligned} \right\} \quad (97)$$

From this it is seen that in this case the frequency  $\omega_1$ , which did not appear in the undisturbed motion, has also disappeared from the perturbed motion. Moreover we learn from (97) that the perturbed motion, with the approximation involved in this formula, takes place in a plane which rotates uniformly round the  $z$ -axis with a frequency  $(-\omega_2 + \omega_3)$ . In this plane the perturbed motion is periodic with period  $\omega_2$  and may be represented by

$$\dot{\xi} + i\eta = -\kappa I^0 e^{2\pi i \omega_2 t} + \frac{3eF\kappa^2 I^0{}^3}{4v} \mu (3 - e^{2\pi i 2\omega_2 t}),$$

where the  $\eta$ -axis is perpendicular to the  $z$ -axis. The "centre of gravity" of the perturbed orbit is seen to be displaced, under the influence of the electric field, to a point on the  $\xi$ -axis situated at a distance  $\frac{3eF\kappa^2 I^0{}^3}{4v} 3\mu$  from the nucleus, in a direction opposite to the direction of the component parallel to the  $\xi$ -axis of the force which the electric field exerts on the electron.

Another case in which the perturbed motion assumes a simple character is that for which the plane of the undisturbed orbit is perpendicular to the direction of the electric field ( $\mu' = 1$ ,  $\mu = 0$ ). In this case (94) and (96) assume the form

$$z^1 = \frac{3eF\kappa^2 I^0{}^3}{4v} \left[ -\frac{3\varepsilon^2}{\varepsilon'} + \sum \frac{2\varepsilon}{\tau\varepsilon'} (J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - J_{\tau+1}(\tau\varepsilon)) \cos 2\pi\tau\omega_1 t \right], \quad x^1 + iy^1 = 0. \quad (98)$$

We see that the frequency  $\omega_2$  does not appear in the perturbed motion, and from a comparison of (98) and (90) we learn that this motion may be described as a Keplerian motion of frequency  $\omega_1$  in a plane which makes a small angle equal to  $\frac{3eF\kappa I^0}{4v} \frac{2\varepsilon}{\varepsilon'}$  with the  $x$ - $y$ -plane, and which rotates with a frequency  $-\omega_1 + \omega_3$  round the  $z$ -axis. The minor axis of the Keplerian ellipse is at any moment parallel to the  $x$ - $y$ -plane, and the direction in which the electrical centre is "pushed" out of the  $x$ - $y$ -plane coincides with the direction of the force which the perturbing

electric field exerts on the electron. In the paper mentioned in the beginning of this section where the general problem, in which the perturbations due to the electric force are not small compared to those due to the relativity modifications, will be treated, it will be possible to elucidate the meaning and importance of the simple character of the perturbations in the two special cases just described from a general point of view.

## Part II.

### Discussion of the intensities of the components of the hydrogen lines.

#### § 5. Application of the quantum theory to the problem of the intensity of spectral lines.

According to RUTHERFORD's theory of atomic structure the atom of an element consists of a number of electrons surrounding a positive nucleus, the mass of which is very large compared with that of the electrons and the charge of which is equal to  $Ne$ , where  $N$  is an integer and where  $-e$  denotes the charge of an electron. In the simple case where the atom consists of a nucleus and one electron only, *viz.* for a neutral hydrogen atom ( $N = 1$ ), a helium atom which has lost one electron ( $N = 2$ ), a lithium atom which has lost two electrons ( $N = 3$ ), etc. it has been possible to develop methods which allow us to fix the stationary states, not only when the atom is undisturbed by external influences, but also when it is exposed to the influence of constant small external forces. In special cases, where the external field is of such a character that the perturbed atom allows of separation of variables, the stationary states will, according to the theory developed by SOMMERFELD and by EPSTEIN, be given by

$$I_k = n_k h, \quad (k = 1, \dots, s) \quad (99)$$

where  $I_1, \dots, I_s$  are the quantities defined by (6), and where  $n_1, \dots, n_s$  are a set of positive integers, while  $h$  is PLANCK's constant<sup>1</sup>). For instance, in the case of a hydrogen atom (positively charged helium atom, etc.) which is exposed to a homogeneous electric field of force, the intensity of which is so large that its influence on the motion of the electron is large, compared to that which is due to the modifications in the laws of Newtonian mechanics claimed by the theory of relativity, the stationary states will be fixed by the conditions  $I_1 = n_1 h, I_2 = n_2 h, I_3 = n_3 h$ , where  $I_1, I_2, I_3$  are the quantities defined by (45) in § 3. If, however, the system is degenerate

<sup>1</sup>) Compare P. EPSTEIN, *Ann. d. Phys. L.*, p. 489 (1916). A method which allows us to treat the problem of the stationary states of a perturbed hydrogen atom in more general cases has been developed in Part II of BOHR's often mentioned paper. This theory will, from the point of view of introduction of angle variables, be discussed in the paper mentioned in the beginning of § 4, in which it will especially be applied to the problem of the simultaneous effect of the relativity modifications and of a homogeneous electric field on the hydrogen spectrum, which problem cannot be treated by means of the method of separation of variables.

(see page 8), the number of conditions which fix the stationary states will be less than the number of degrees of freedom and equal to the number of fundamental frequencies characterising the motion, but just as in the case of a non-degenerate system these conditions will be sufficient to fix the value of the total energy of the system, which is determining for the frequencies of the spectral lines. If we, for instance, consider the undisturbed hydrogen atom in space, we have to do with a system of three degrees of freedom, the motion of which is characterised by two fundamental frequencies only. Separation of variables is possible for any set of polar coordinates with the centre at the nucleus, and three quantities  $I_1, I_2, I_3$  may be defined by the formulae (75). There will, however, only be two conditions characterising the stationary states, viz.  $I_1 = n_1 h$  and  $I_2 + I_3 = n_2 h$  (or, with the notation of § 2,  $I_1 = n_1 h, I_2 = n_2 h$ ), in intimate connection with the fact that the direction in space of the axis of the system of coordinates used for the separation is arbitrary, so that the quantities  $I_2$  and  $I_3$  themselves naturally must remain undetermined in the stationary states. A very important example of a degenerate system is further afforded by a system consisting of an electron and a nucleus, the motion of which is governed by Newtonian mechanics; this system will in the following be denoted as the model of a "simplified hydrogen atom". The motion of this system is simply periodic and its stationary states will therefore be characterised by one condition only. Separation of variables may be obtained in an infinite multitude of sets of coordinates, for instance in any set of polar coordinates and in any set of parabolic coordinates with the nucleus at the centre. In both of these cases we obtain three quantities  $I_1, I_2, I_3$ , which coincide with the analogous quantities in § 4, if we take the velocity of light  $c$  infinitely large, and with the analogous quantities in § 3, if we take the intensity of the electric force  $F$  equal to zero. The stationary states will in both cases be fixed by the single condition  $I = I_1 + I_2 + I_3 = nh$ , where  $n$  is a positive integer, in intimate connection with the fact that, due to the arbitrariness in the choice of the set of coordinates used for the separation, the values of  $I_1, I_2, I_3$  themselves must remain arbitrary in the stationary states. We therefore have directly from the formulae (24) and (46) that the energy in the stationary states of the simplified hydrogen atom is given by

$$E = -\frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{I^2} = -\frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{n^2 h^2}. \quad (100)$$

The frequency of revolution in these states will according to (11) be given by

$$\omega = \frac{\partial E}{\partial I} = \frac{4\pi^2 N^2 e^4 m}{I^3} = \frac{4\pi^2 N^2 e^4 m}{n^3 h^2}, \quad (101)$$

while the major axis of the Keplerian ellipse described by the electron may be easily shown to be equal to

$$2a = \frac{I^2}{2\pi^2 N e^2 m} = \frac{n^2 h^2}{2\pi^2 N e^2 m}. \quad (102)$$



The eccentricity of the orbit and the position of its plane in space are undetermined in the stationary states.

In the deduction of the preceding formulae, the mass of the nucleus is regarded as infinite compared with that of the electron. If we take into account that the mass of the nucleus is finite, the motion of the simplified hydrogen atom will still be periodic, the electron and the nucleus describing both a closed Keplerian orbit with their common centre of gravity at one of the foci, and separation of variables may again be obtained for any set of polar coordinates as well as for any set of parabolic coordinates with this centre of gravity at the centre. Performing the necessary calculations, it is easily found that the necessary modifications to be introduced in the above formulae on account of the finite mass of the nucleus are obtained by replacing, in the expressions for  $E$  and  $\omega$ , the quantity  $m$  by  $\frac{Mm}{M+m} = \frac{m}{1+m/M}$ , where  $M$  represents the mass of the nucleus. The expression for the major axis of the orbit of the electron remains the same, while the major axis of the orbit of the nucleus becomes equal to  $\frac{n^2 h^2}{2\pi^2 N e^2 M}$ . For the energy in the  $n^{\text{th}}$  stationary state of the simplified hydrogen atom we thus get

$$E_n = - \frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{n^2 h^2 (1 + m/M)}. \quad (103)$$

In the calculations in § 2, § 3 and § 4, the correction for the finite mass of the nucleus has not been taken into account, but since the motion of the electron treated in these sections shows only small deviations from the periodic Keplerian motion just considered, it is on account of the small value of  $m/M$  obviously permitted to neglect this correction in the calculation of these deviations and of their effect on the total energy in the stationary states.

From the above it is seen that the stationary states of a conditionally periodic system are fixed by a number of conditions of the type  $I_k = n_k h$ . Calling this number  $r$ , the total energy will be a function of  $n_1, \dots, n_r$ , and according to (1) the frequency  $\nu$  of the radiation emitted during a transition between two stationary states, which are characterised by  $n_1 = n'_1, \dots, n_r = n'_r$  and  $n_1 = n''_1, \dots, n_r = n''_r$ , respectively, will be given by

$$\nu = \frac{1}{h} \{ E(n'_1, \dots, n'_r) - E(n''_1, \dots, n''_r) \}. \quad (104)$$

The state of largest energy, characterised by  $n'_1, \dots, n'_r$ , will in the following be denoted as the "initial state", the state of smallest energy, characterised by  $n''_1, \dots, n''_r$ , as the "final state" of the transition in question. Formula (104) allows us to calculate all possible values for the frequencies of the spectral lines which may be emitted by the system. Thus, for the spectrum of the simplified hydrogen atom, we get from (104) for the frequency  $\nu$  of the radiation emitted during a transition from an initial state to a final state characterised by  $n'$  and  $n''$  respectively — such a transition

will in the following be indicated by the symbol  $(n' \rightarrow n'')$  —

$$\nu = KN^2 \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n''^2} \right), \quad K = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3 (1 + m/M)}. \quad (105)$$

If we put  $N = 1$ , formula (105) represents, as shown by BOHR, to a high degree of approximation the series spectrum of hydrogen. Further, if we put  $N = 2$ , we should on the theory expect that (105) would represent the line spectrum which would be emitted by a helium atom which has lost one electron. Certain lines observed by PICKERING in stellar spectra  $((7 \rightarrow 4), (9 \rightarrow 4), \dots)$ , and by FOWLER in a vacuum tube containing a mixture of hydrogen and helium  $((4 \rightarrow 3), (5 \rightarrow 3), \dots)$  were assumed by BOHR to belong to this spectrum; and the theory was subsequently supported by EVANS' observation of these lines in the spectrum of a tube filled with carefully purified helium, which did not show the ordinary lines of the Balmer series  $((3 \rightarrow 2), (4 \rightarrow 2), \dots)$ , but which, in addition to the series observed by PICKERING and by FOWLER, showed a new series of lines lying close to the positions of the Balmer lines and which on the theory correspond to  $(6 \rightarrow 4), (8 \rightarrow 4), \dots$ ).

In the theories given by SOMMERFELD<sup>1)</sup> for the effect of the relativity modifications, by EPSTEIN<sup>2)</sup> and by SCHWARZSCHILD<sup>3)</sup> for the effect of a homogeneous electric field, and by SOMMERFELD<sup>4)</sup> and by DEBYE<sup>5)</sup> for the effect of a homogeneous magnetic field on the hydrogen lines, every stationary state of the simplified hydrogen atom appears, so to speak, as split up in a number of stationary states in which the values of the total energy differ only little from the values given by (103). Thus, in the case of an electric field acting on the atom, the stationary states are fixed, as mentioned above, by three entire numbers  $n_1, n_2, n_3$ , and to a stationary state of the simplified hydrogen atom characterised by a given value of  $n$  will "correspond" all stationary states of the atom, perturbed by the electric field, for which  $n_1 + n_2 + n_3$  is equal to this value. Also the three fundamental frequencies  $\omega_1, \omega_2$  and  $\omega_3$ , characterising the motion of the perturbed atom, will only differ little from the frequency of revolution  $\omega$  of the simplified hydrogen atom. The effect on the spectrum, which will be due to the influence of one of the agencies mentioned, and which may be calculated from (104), will consequently consist in the splitting up of every hydrogen line in a number of components lying very near each other. As well known, the above mentioned authors have in this way obtained results as regards the frequencies of these components, which are in convincing agreement with the experiments on the fine structure, the Stark effect and the Zeeman effect of the hydrogen lines.

<sup>1)</sup> See E. J. EVANS, Phil. Mag. XXIX, p. 284 (1915).

<sup>2)</sup> A. SOMMERFELD, Ber. Akad. München, 1915, p. 459.

<sup>3)</sup> P. EPSTEIN, Ann. d. Phys. L, p. 489 (1916).

<sup>4)</sup> K. SCHWARZSCHILD, Ber. Akad. Berlin, 1916, p. 548.

<sup>5)</sup> A. SOMMERFELD, Phys. Zeitschr. XVII, p. 491 (1916).

<sup>6)</sup> P. DEBYE, Phys. Zeitschr. XVII, p. 507 (1916).

Relation (1) allows us to determine the frequency of the radiation emitted during a transition, but gives no information as regards the intensity and polarisation of this radiation. Now the mechanism of the radiation process with which the quantum theory operates is quite unknown and must, on account of the essential discontinuity involved in relation (1), be entirely different from the radiation process in ordinary electrodynamics, which is essentially continuous. Due to this discontinuous character, it has been necessary to introduce in the quantum theory the notion of the "a-priori probability of spontaneous transition" between two stationary states of an atomic system, which was used by EINSTEIN<sup>1)</sup> in his explanation of the law of temperature radiation on the basis of the quantum theory. Imagine an atomic system in one of its stationary states, and let us for the present assume that it is uninfluenced by external radiations. Then the system must be assumed to possess a tendency within a given time interval to pass spontaneously to one of the other stationary states of the system for which the value of the total energy is smaller; in analogy with the circumstance that on ordinary electrodynamics a vibrating electron will emit radiation and loose energy independent of surrounding radiations. A measure for this a-priori probability of spontaneous transition is given by the quantity  $A'_{\nu}$ , introduced by EINSTEIN, which is defined in such a way that  $A'_{\nu} dt$  represents the probability that the atom in a stationary state characterised by one dash (') will pass spontaneously within a time interval  $dt$  to another stationary state which is characterised by two dashes (''). Besides the quantities  $A$ , EINSTEIN has introduced other quantities  $B$  which are defined in a corresponding way and which measure the probability that a transition will take place due to the presence of radiation in the surrounding space, in analogy with the circumstance that on ordinary electrodynamics a vibrating electron will emit or absorb energy due to the action of the electric and magnetic forces in the electromagnetic radiation existing in the surrounding space. These probabilities of transition due to the surrounding radiation will, however, be proportional to the density of this radiation; as a consequence of this, it is easily seen that the value of  $A'_{\nu}$  alone will be the determinative factor for a calculation of the intensity with which the corresponding spectral line will be emitted by the vacuum tube (or flame) in which the radiation is excited. In fact, in the luminescent gas (or vapour) this radiation is excited by impact of electrons, due to which one electron or several electrons are knocked out of the atom, so that the atoms in their different stationary states will not be in temperature equilibrium with the radiation present in the surrounding space; on the contrary, the density of the latter radiation will be comparatively very small, and the quantities  $B$  will not play any considerable part in the determination of the intensity of the spectrum. If  $\nu$  is the frequency of the radiation emitted during a certain transition, and  $a'$  the number of atoms present in the vacuum tube (or flame) in the initial state, the energy of the radiation of frequency  $\nu$  emitted in unit time will consequently be given by  $a' \times A'_{\nu} \times h \nu$ .

<sup>1)</sup> A. EINSTEIN, Phys. Zeitschr. XVIII, p. 121 (1917).

Although the radiation process in the quantum theory is so much unlike the radiation process in ordinary electrodynamics, it was shown by BOHR that there exists an intimate formal connection between these two theories. This connection refers in the first place to the frequencies of the radiation which on the quantum theory will be emitted by the atom and the frequencies which on the ordinary theory of electrodynamics would be emitted. Consider thus a transition between two stationary states of a non-degenerate conditionally periodic system of the type described in Part I, the initial state and final state of which are characterised by  $n_1 = n'_1, \dots, n_s = n'_s$  and  $n_1 = n''_1, \dots, n_s = n''_s$  respectively, where  $n_1, \dots, n_s$  are the integers appearing in the conditions (99), and consider the multitude of mechanically possible states of the system lying "between" the initial state and the final state, for which the quantities  $I_1, \dots, I_s$  are equal to  $I_k = \{n''_k + \lambda(n'_k - n''_k)\} h$ , ( $k = 1, \dots, s$ ), where  $\lambda$  assumes all values between 0 and 1. Then it is easily proved that the frequency  $\nu$  of the radiation emitted during the transition under consideration is equal to the mean value, taken over all states from  $\lambda = 0$  to  $\lambda = 1$ , of the frequency  $(n'_1 - n''_1)\omega_1 + \dots (n'_s - n''_s)\omega_s$  which appears in the motion of the electron when this motion according to (12) is resolved in its constituent harmonic components. In fact, from (11) it follows that the difference in the total energy for two neighbouring mechanically possible states, characterised by  $I_1, \dots, I_s$  and  $I_1 + \delta I_1, \dots, I_s + \delta I_s$  respectively, may be expressed by the formula

$$\delta E = \omega_1 \delta I_1 + \dots \omega_s \delta I_s, \quad (106)$$

so that we get from (1)

$$\nu = \frac{1}{h} \int_{\lambda=0}^{\lambda=1} \delta E = \frac{1}{h} \int_{\lambda=0}^{\lambda=1} (\omega_1 \delta I_1 + \dots \omega_s \delta I_s) = \int_0^1 d\lambda \{ (n'_1 - n''_1)\omega_1 + \dots (n'_s - n''_s)\omega_s \}. \quad (107)$$

Especially in the region of stationary states where the  $n$ 's are so large, that for small values of the numbers  $n'_k - n''_k$  the motion in the initial and in the final state differ relatively little from each other, the  $\omega$ 's may be considered as constant when  $\lambda$  varies from 0 to 1, so that the frequency  $\nu$  of the emitted radiation approaches asymptotically to the frequency  $(n'_1 - n''_1)\omega_1 + \dots (n'_s - n''_s)\omega_s$ , present in the motion of the system.<sup>1)</sup>

From this remarkable connection in the limit of large  $n$ 's between the frequencies of the spectral lines to be expected on the quantum theory and the frequencies  $\tau_1 \omega_1 + \dots \tau_s \omega_s$  of the harmonic vibrations in which, according to (12), the motion of a conditionally periodic system may be resolved, and which therefore according to ordinary electrodynamics would occur in the electromagnetic

<sup>1)</sup> See BOHR, loc. cit. Part I, p. 31. Compare J. M. BURGERS (Het atoommodel van Rutherford-Bohr, Haarlem, 1918), who recently has also called attention to this asymptotical relation in the region of large  $n$ 's, without entering, however, on the bearing of this relation on the problem of the intensity and polarisation of spectral lines.

radiation emitted by the atom, we may according to BOHR draw the conclusion that also the intensities and polarisations of the spectral lines emitted in the region of large  $n$ 's will asymptotically be the same as the intensities and polarisations of the corresponding lines which on ordinary electrodynamics would be emitted by the atom. This hypothesis is in agreement with the fact, that in the limit of large wave lengths PLANCK's formula for the intensity distribution in temperature radiation coincides with the formula of RAYLEIGH and JEANS, which is deduced on the basis of ordinary electrodynamics. Now the radiation energy emitted in unit time by an electron performing in a certain direction a linear harmonic motion which may be represented by  $x = C \cos 2\pi\omega t$ , where  $C$  is the amplitude and  $\omega$  the frequency of the vibration, would, according to the laws of electrodynamics, be proportional to the mean value of the square of the acceleration of the electron and would therefore be given by  $gC^2\omega^4$ , where  $g$  is a universal constant with the value of which we are not concerned here. From the above we may therefore conclude that, for a conditionally periodic system consisting of a single electron moving in a fixed field of force and the stationary states of which are determined by (99), the a-priori probability of spontaneous transition between an initial state characterised by the large integers  $n'_1, n'_2, n'_3$  and a final state characterised by  $n_1 = n'_1 - \tau_1, n_2 = n'_2 - \tau_2, n_3 = n'_3 - \tau_3$ , where  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  are a set of positive or negative integers which are small compared to  $n'_1, n'_2, n'_3$ , will be asymptotically given by  $gC^2\omega^4 h\omega = \frac{g}{h} C^2\omega^5$ ,

where  $\omega = \tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2 + \tau_3\omega_3$  represents the frequency of the emitted radiation and  $C$  the amplitude of the harmonic vibration of this frequency occurring in the motion of the electron in the initial state or in the final state. For simplicity it has in this consideration been assumed that the vibration of frequency  $\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2 + \tau_3\omega_3$  is linear, parallel to a given direction, and we may therefore further conclude that the radiation emitted during the transition in question is linearly polarised in this direction. In the cases where, on ordinary electrodynamics, the radiation of frequency  $\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2 + \tau_3\omega_3$  in the states under consideration would be circular or elliptical we shall naturally conclude, that the probability of transition can be calculated in a corresponding way, and that the radiation emitted during a transition will be circularly, resp. elliptically polarised, the directions in space characterising these polarisations being the same as those characterising the corresponding harmonic vibrations in the motion of the system.

Returning now to the region of stationary states where the  $n$ 's in (99) are small numbers, we may assume, according to Bohr, that there will still exist an intimate connection between the coefficients  $C$  appearing in the trigonometric series of the type (12) by which the motion of the system may be represented and the a-priori probabilities for transitions between these states. Thus, if for the displacements of the particles in all directions in space the coefficient  $C\tau_1^0, \dots, \tau_p^0$ , corresponding to the frequency  $\tau_1^0\omega_1 + \dots, \tau_p^0\omega_p$ , is



equal to zero, independent of the values of the  $I$ 's, we must expect that there will be no possibility for a transition between two stationary states for which  $n'_1 - n''_1 = \tau_1^0, \dots, n'_s - n''_s = \tau_s^0$ . If the coefficient in question is equal to zero, independent of the values of the  $I$ 's, only for the displacement of the particles in a certain given direction, we must expect that a transition for which  $n'_1 - n''_1 = \tau_1^0, \dots, n'_s - n''_s = \tau_s^0$  will give rise to a radiation polarised perpendicular to this direction. An important application of this consideration may be made to systems possessing an axis of symmetry, as for instance the systems discussed in § 3 (and in § 4). For these systems the motion of the electron may, as it is directly seen from some simple general considerations given by BOHR<sup>1)</sup>, be resolved in a number of linear harmonic vibrations of frequencies  $\tau_1 \omega_1 + \tau_2 \omega_2$  parallel to the axis of symmetry, and of a number of circular harmonic rotations of frequencies  $\tau_1 \omega_1 + \tau_2 \omega_2 + \omega_3$  perpendicular to this axis. We must therefore expect that only such transitions will be possible for which  $n_3$  remains unaltered, giving rise to an emission of light polarised parallel to the axis, and such for which  $n_3$  decreases or increases by one unit, giving rise to an emission of light which is circularly polarised perpendicular to the axis. Since for the systems under consideration  $\frac{I_z}{2\pi}$  will represent the angular momentum of the electron round the axis of symmetry, we see that during transitions of the first kind this angular momentum remains unaltered, while for transitions of the second kind it decreases or increases by  $\frac{h}{2\pi}$ .<sup>2)</sup>

While these considerations in many cases allow us to draw definite conclusions as regards the polarisation with which the different lines of the spectrum of an atomic system are emitted, we meet, however, with a very difficult problem if we ask for a closer estimate of the intensity with which a spectral line, corresponding to a possible transition between two stationary states characterised by values for the  $n$ 's in (99) which are not large, is emitted. In fact, this intensity will in the first place depend on the a-priori probability  $A'$ , for the spontaneous occurrence of the transition in question. Although, of course, we must claim that the probability of spontaneous transition between two given states depends on the mechanical properties of the system and on the two sets of numbers  $n'_1, \dots, n'_s$  and  $n''_1, \dots, n''_s$  characterising these states, we cannot expect to obtain an exact expression for this probability which depends in a simple way on the amplitudes of the harmonic vibrations of frequency  $(n'_1 - n''_1)\omega_1 + \dots + (n'_s - n''_s)\omega_s$  in the motion in these states: just as it is clearly impossible to express the frequency of the emitted radiation

<sup>1)</sup> loc. cit. Part I, p. 33.

<sup>2)</sup> Compare in this connection BOHR (loc. cit. Part I, p. 34), who has pointed out that a consideration of conservation of angular momentum, which takes into account the amount of angular momentum present in the electromagnetic radiation emitted during a transition, gives a convincing support of the assumption that the angular momentum of the system round the axis cannot change by more than  $\frac{h}{2\pi}$ . Compare also A. RUBINOWICZ (Phys Zeitschr. XIX, p. 441, p. 465 (1918)), who by a similar consideration of conservation of angular momentum has independently arrived at some of the conclusions drawn by BOHR as regards the spectrum of atomic systems possessing an axis of symmetry.

in a simple way in terms of the values of this frequency in the two states. With reference, however, to the fact, that it is possible, as shown in the preceding, to represent the frequency  $\nu$  of the emitted radiation in a simple way as the mean value of the mentioned frequency, taken over the continuous multitude of mechanically possible states characterised by  $I_k = n_k'' + \lambda(n_k' - n_k'')$  ( $k = 1, 2 \dots s$ ) where  $\lambda$  takes all values between 0 and 1, the expectation lies at hand that it might also be possible to obtain an expression for the probability in question by comparing the emitted radiation with the intensity of the radiation emitted on ordinary electrodynamics by an electron performing a simple harmonic vibration which may be represented by

$$\xi = C \cos 2\pi \nu t, \quad (108)$$

where  $C$  is equal to a suitably chosen mean value of the amplitude  $C_\lambda$  of the vibration of frequency  $(n_1' - n_1'')\omega_1 + \dots (n_s' - n_s'')\omega_s$  occurring in the motion in the different states characterised by different values for  $\lambda$ .<sup>1</sup> The value for the probability  $A''$  for the spontaneous occurrence of the transition in question would then be given by  $\frac{g}{h} C^2 \nu^3$ . The exact determination of  $A''$ , however, is at present a quite unsolved problem which involves fundamental difficulties. But, even if the exact value of  $A''$  was known, a calculation of the intensities would moreover require the knowledge of the number  $\alpha'$  of atoms which in the initial state are present in the vacuum tube; the determination of this number, which will obviously vary to a large extent with the experimental conditions (pressure, voltage, etc.), is in general a difficult problem in itself.

<sup>1</sup> Among the possible expressions for such a mean value, an expression of the type

$$C = e^{\int_0^1 \log C_\lambda d\lambda} \quad (109)$$

offers itself naturally, since, with this definition of  $C$ , the expression  $C e^{2\pi i \nu t}$ , of which (108) forms the real part, appears directly as the logarithmic mean value of the expression

$$C_\lambda e^{2\pi i \nu t} \left\{ (n_1' - n_1'')\omega_1 + \dots (n_s' - n_s'')\omega_s \right\} t,$$

the real part of which represents the corresponding harmonic vibration which occurs in the motion of the system in the states characterised by the different values of  $\lambda$ . It follows from the well known properties of such logarithmic mean values that it makes no difference whether we take the mean values of the squares of the amplitudes or the squares of their mean values. It may moreover be remarked that in the special case where the relative intensities of the components into which a given hydrogen line is split up are asked for, — and in which, as mentioned in the text below, it is possible to obtain a direct test for a formula representing a theoretical estimate of the relative values for the a-priori probabilities of transition between the different pairs of stationary states, — the above mean value possesses the advantage that we shall obtain the same relative values for the estimate for these probabilities, whether for  $C$  we take the amplitude (or the „relative“ amplitude introduced on page 52) of the vibration itself or the „amplitude“ of the corresponding velocity, or acceleration; a point the importance of which will be understood when it is remembered how small our actual knowledge of the mechanism of radiation is. In § 8, however, it will be shown, in connection with the theory of the Zeeman effect, that mean values of the type  $C^2$ , as defined by (109), can never represent an exact expression for the relative intensities of the components, because they do not satisfy the fundamental condition that small external forces can only produce small changes in the intensity distribution of spectral lines.

There exists, however, one case in which it seems possible on the basis of the above considerations to obtain direct information about the relative intensities with which different spectral lines are emitted, *viz.* if we consider the components in which a spectral line, emitted by an atomic system which is degenerate, is split up due to the influence of some agency on the atom. Examples are afforded by the fine structure of the hydrogen lines which is due to the influence of the relativity modifications, and by the Stark effect of the hydrogen lines which is due to the influence of an external homogeneous electric field of force on the hydrogen atom. In order to fix the ideas let us consider especially the case of the Stark effect. Under the influence of the external force a given hydrogen line ( $n' \rightarrow n$ ) will be split up in a number of components, corresponding to transitions for which the initial states will be characterised by different combinations  $n_1 = n'_1$ ,  $n_2 = n'_2$ ,  $n_3 = n'_3$  ( $n'_1 + n'_2 + n'_3 = n'$ ) and the final states by corresponding combinations  $n''_1, n''_2, n''_3$  ( $n''_1 + n''_2 + n''_3 = n''$ ). Since the values of the total energy in the different initial states are approximately equal, it seems in the first place allowable to conclude that in the vacuum tube the numbers of atoms present in these states will be approximately proportional to the different a-priori probabilities of these states. In fact, this assumption presents itself naturally, in analogy with the corresponding property of a statistical distribution of a large number of atoms which is in temperature equilibrium; although of course the state of equilibrium in the luminescent vacuum tube will, as mentioned, not in general be a temperature equilibrium. As it will be seen in the following sections, the assumption in question seems to be confirmed in a general way by the observations. In the case of the Stark effect the atom forms a non-degenerate conditionally periodic system, for which the different stationary states will be a-priori equally probable (see BOHR, *loc. cit.* Part II, p. 25), and we shall consequently expect that the different initial states  $n'_1, n'_2, n'_3$  are of approximately equal occurrence in the luminous gas.

Moreover the different frequencies  $(n'_1 - n''_1)\omega_1 + \dots (n'_3 - n''_3)\omega_3$  occurring in the motion of the electron in the different corresponding initial states, as well as in the different final states, (and also in the different states characterised by  $I_k = h\{n''_k + \lambda(n'_k - n''_k)\}$  ( $k = 1, 2, 3$ ) for a same value of  $\lambda$ ) are approximately the same, and equal to  $(n' - n'')\omega$ , so that the relative intensities with which, on ordinary electrodynamics, radiations of these frequencies would be emitted from these states are simply proportional to the squares of the amplitudes  $C$  of the harmonic vibrations of these frequencies, occurring in the motion in these states.

We are therefore led to expect that it will be possible to form an idea of the relative intensities with which the different components of the Stark effect will appear, by comparing the intensity of each component with the values of the squares of the amplitudes of the corresponding harmonic vibrations occurring in the motion of the system in the initial state and in the final state and in the mechani-

cally possible states lying "between" these states. In § 6 the values of these squares in the initial states and in the final states will be calculated on the basis of the expressions for the amplitudes deduced in § 3, and it will be shown that, simply from a consideration of these values, it is actually possible to account in main features for the intensities of the different components observed by STARK. In § 7 the same method will be applied in order to estimate the relative intensities of the fine structure components of the hydrogen lines, in which case the above consideration needs a slight modification, due to the fact that the a-priori probabilities for the different stationary states are no more equal to each other. It must, however, be emphasised already here that the method in question can only be expected to give a rather rough estimate of the relative intensities, especially when the  $n$ 's involved in the different stationary states are very small numbers. In the theory of the Stark effect we shall, for instance, meet with transitions for which the amplitudes of the corresponding frequency are equal to zero in the initial state, as well as in the final state, and where, as a matter of fact, the intensity of the corresponding component is different from zero. A closer discussion of these transitions shows, however, that the value of the amplitude of the vibration of corresponding frequency in the mechanically possible states lying "between" the initial state and the final state is different from zero for these transitions. In order to account for the finer details of the observations, we are therefore naturally induced to try to improve the estimate of the relative intensities of the components by comparing these intensities, not with the squares of the corresponding amplitudes in the initial states and final states only, but with some suitable mean value of these squares taken over the mechanical states which lie between these states, and which are characterised by the different values of  $\lambda$  between 0 and 1. Especially the logarithmic mean value of these squares, of the type defined by (109) in the note on page 46, would seem to lend itself naturally to such an attempt. A computation of these logarithmic mean values, however, would involve laborious numerical calculations and has not been given in the present paper, because we cannot expect, as mentioned in the note referred to, to obtain in this way an exact determination of the relative intensities (compare page 100) and also because, at the present state of the theory, the agreement with the observations obtained by the simpler calculations in this paper may be considered as very satisfactory.

Although we have thus met with a case where BOHR's considerations about the connection between the quantum theory and the ordinary electrodynamical theory of radiation may be directly applied to estimate the relative intensities of spectral lines, it must be remembered that this estimate is based on the necessary continuous connection between the unknown laws governing the intensities with which spectral lines are emitted in the region where the  $n$ 's in (99) are small and the law which governs these intensities in the region of very large  $n$ 's. The estimate in question must consequently be expected to become the more uncertain the smaller the numbers  $n_1, \dots, n_s$  are which characterise the stationary states

involved in the transitions. It is therefore of great importance that, just in the case of spectral lines which are split up in components, it is possible to obtain some direct information as regards the relative intensities of these components in a way which is quite independent of the preceding considerations. In fact, a simple consideration of continuity or, as BOHR calls it, a consideration of the necessary "stability of spectral phenomena"<sup>1)</sup>, assures us at once that the intensities of the polarised components in which an unpolarised spectral line splits up under the influence of small external forces will be such, that the ensemble of all components together will show no characteristic polarisation in any direction, if small quantities proportional to the intensity of the external forces are neglected. If we consider for instance the Stark effect or the Zeeman effect of the hydrogen lines, viewed in a direction perpendicular to that of the electric or of the magnetic field, the sum of the intensities of the components polarised parallel to the field must be equal to the sum of the intensities of the components polarised perpendicular to the field. The information about the intensities given by this statement becomes more valuable the smaller the number is of the components in which the line is split up, but in general this occurs just in the cases where the  $n$ 's involved in the different transitions are small numbers and where consequently the estimate of the a-priori probabilities of spontaneous transitions, based on a consideration of the amplitudes of the harmonic vibrations in which the motion of the atom may be resolved, becomes especially uncertain.

## § 6. The Stark effect of the hydrogen lines.

In this section we will discuss in detail the estimate for the relative intensities of the components of the Stark effect of the hydrogen lines, which can be obtained from the calculations in § 3 on the basis of the considerations given in § 5, and it will be shown that it is possible to account in a convincing way for the relative intensities of the components which have been observed by STARK<sup>2)</sup> in the case of the hydrogen lines  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  and  $H_\delta$ .

If the intensity of the electric field acting on the atoms is so large that the relativity modifications in the laws of mechanics governing the motion of the electron may be neglected, the hydrogen atom will form a mechanical system which allows of separation of variables in parabolic coordinates (EPSTEIN). This separation has been performed in § 3 and, as mentioned in the preceding section, the stationary states of the atom will be fixed by the three conditions

$$I_1 = n_1 h, \quad I_2 = n_2 h, \quad I_3 = n_3 h, \quad (110)$$

<sup>1)</sup> BOHR, loc. cit. Part II, p. 85.

<sup>2)</sup> J. STARK, *Elektrische Spektralanalyse chemischer Atome*, Leipzig, Hirzel (1914). This monograph contains a survey of STARK's investigations on the effect of an electric field on spectral lines until 1914



where  $I_1$ ,  $I_2$  and  $I_3$  are the quantities defined by (45), and where  $n_1$ ,  $n_2$  and  $n_3$  are positive integers. The different stationary states, characterised by different combinations of the  $n$ 's, will in the following be denoted by the symbol  $(n_1, n_2, n_3)$ ; they are, as mentioned, a-priori equally probable, but it must be kept in mind that, while  $n_1$  and  $n_2$  may assume the values  $0, 1, 2, 3 \dots$ ,  $n_3$  can only assume one of the values  $1, 2, 3, 4 \dots$ . In fact, it was pointed out by BOHR that states corresponding to  $n_3 = 0$  cannot represent possible stationary states of the atom because there is an essential singularity involved in the motion in these states<sup>1)</sup>.

The value of the total energy in the stationary states will be obtained by introducing (110) in the expression (46) for the total energy of the system. The frequency  $\nu$  of the radiation emitted during a transition between an initial state  $(n'_1, n'_2, n'_3)$  and a final state  $(n''_1, n''_2, n''_3)$  — such a transition will in the following be denoted by the symbol  $(n'_1, n'_2, n'_3 \rightarrow n''_1, n''_2, n''_3)$  — will then, according to (1), be given by

$$\left. \begin{aligned} \nu &= \nu_0 - \frac{3hF}{8\pi^2 N e m} J, \\ \text{where} \\ \nu_0 &= \frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{h^3} \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n''^2} \right), \quad J = n'(n'_1 - n'_2) - n''(n''_1 - n''_2), \\ \text{and where} \\ n' &= n'_1 + n'_2 + n'_3, \quad n'' = n''_1 + n''_2 + n''_3. \end{aligned} \right\} \quad (111)$$

The expression for  $\nu_0$  coincides with formula (105) holding for the frequencies of the spectral lines emitted by the simplified hydrogen atom, when the mass of the nucleus is considered as infinite. The additional term in the expression for  $\nu$  is proportional to the intensity  $F$  of the electric force and allows us to calculate the magnitudes of the displacements from the position of the original line of the different components in which this line splits up under the influence of the electric force<sup>2)</sup>. As shown by EPSTEIN and by SCHWARZSCHILD, formula (111) is in excellent agreement with the frequencies of the different components of the hydrogen lines ob-

<sup>1)</sup> BOHR, loc. cit. Part II, p. 75. In this connection it may be observed that in states for which  $n_3 = 0$  the motion of the electron would take place in a plane, and that, if the relativity modifications are neglected, the angular momentum of the electron round the nucleus would in the course of the motion become equal to zero at regular intervals and change its sign, so that in the course of time the electron would in general collide with the nucleus. On the other hand, if the relativity modifications are taken into account, the perturbing influence of these modifications would become very large and of the same order of magnitude as the influence of the electric field when the angular momentum approaches to zero. As will be shown in the paper mentioned in the beginning of § 4, the value of this angular momentum will never pass through zero and the motion of the electron would in the states in question be essentially different from that in the non-relativity case. It was pointed out by BOHR, however, that this circumstance does not, from the point of view of the quantum theory, remove the singular character of these states, which compels us to exclude them from the ensemble of possible stationary states.

<sup>2)</sup> See P. EPSTEIN, Ann. d. Phys. L., p. 489 (1916); K. SCHWARZSCHILD, Berl. Ber. p. 548 (1916). The correction for the finite mass of the nucleus in the expression for  $\nu$  will, according to what has been said in § 5 on page 40, be taken into account by simply replacing the above expression for  $\nu_0$  by that which is given in formula (105).

served by STARK. Thus the displacements of these components from the original positions of the lines are all entire multipla of the quantity  $\frac{3hF}{8\pi^2 N e m}$ , which is the same for all lines of the spectrum, and which is proportional to the intensity of the electric force. Moreover the Stark effect of the hydrogen lines was found to be symmetrical as regards the displacements as well as the intensities of the components. This agrees with the fact that to each component on one side of the position of the undisplaced line there will correspond one on the other side which is obtained by interchanging the values of  $n'_1$  and  $n'_2$ , as well as of  $n''_1$  and  $n''_2$ , and for which the value of  $J$  will be numerically equal to that for the first component but of opposite sign. That two such components will also appear with the same intensity is directly explained by observing that the motion of the electron in two states of the atom for which  $I_3$  and  $I_1 + I_2$  are the same, but for which the value of  $I_1$  in the one is equal to that of  $I_2$  in the other, will be symmetrical so that the a-priori probabilities of spontaneous transition corresponding to the two components must be expected to be equal<sup>1</sup>).

Looking apart from the symmetry of the effect, the relative intensities with which the components appear on STARK's photographs vary in an irregular way from component to component, but are independent of the intensity of the electric force. Further, as regards the polarisation, STARK found that, when viewed in a direction perpendicular to that of the electric field, the lines show a number of components polarised parallel and a number of components polarised perpendicular to the direction of the field. When viewed in a direction parallel to the field, only the latter components appeared, with the same intensity distribution, but without showing characteristic polarisation. It was pointed out by EPSTEIN that the polarisation of the components obeys the rule, that the components which, according to (111), would correspond to transitions for which  $n'_3 - n''_3$  is an even number are polarised parallel to the direction of the field, while components, which would correspond to transitions for which  $n'_3 - n''_3$  is uneven, are polarised perpendicular to the field. On BOHR's theory this rule receives an immediate explanation because according to this theory, as it has been discussed on page 45, only two kinds of

<sup>1</sup>) Here we have looked apart from the interesting dissymmetry in the intensities of the components of the hydrogen lines, which under certain experimental conditions appears in STARK's observations, and which consists therein that the components on the red side of the position of the original line appear more, or less, intense than those on the blue side according as the direction of the electric field is the same as, or the opposite of, the direction of propagation of the positive rays by means of which the hydrogen lines are excited (see J. STARK, loc. cit. p. 40). This dissymmetry affords, as pointed out by BOHR (Phil. Mag. XXX, p. 404 (1915)), an interesting support for the general principles underlying the application of relation (1), because it indicates directly that the different components correspond to entirely different processes of radiation the relative occurrence of which may depend on the experimental conditions. Thus the dissymmetry in question must be ascribed to the fact that, under the mentioned conditions, the number of atoms in the vacuum tube present in a state  $(a, b, c)$  and in a state  $(b, a, c)$  will no more be equal to each other but will depend on the orientation of the electric field relative to the direction of the positive rays.

transitions will be possible, *viz.* transitions for which  $n'_3 - n''_3 = 0$  giving rise to radiation polarised parallel to the field, and transitions for which  $n'_3 - n''_3 = \pm 1$  giving rise to radiation polarised circularly in a plane perpendicular to the field.<sup>1)</sup> The components corresponding to the latter transitions will, however, appear as unpolarised when viewed parallel to the field because, due to the symmetry of the atom round the axis of the field, the numbers of the transitions, corresponding to such a component, which give rise to light polarised circularly in one direction and in the opposite direction, will in the mean be the same.

In order to discuss the intensities, we have in the following given tables for the estimate of the relative intensities of the Stark effect components of the hydrogen lines  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ , as it can be obtained by the method exposed in § 5.

In the *first* column the different possible transitions between two stationary states are characterised by their symbols ( $n'_1, n'_2, n'_3 \rightarrow n''_1, n''_2, n''_3$ ). On account of the symmetry of the Stark effect we have only given those transitions which give rise to components lying on one side of the undisplaced line ( $J = 0$ ). Transitions which correspond to the same value of  $J$  and which therefore contribute to the same component in the observed effect are collected by brackets. As regards the stationary states involved in these transitions we have, according to the above, assumed that no stationary states exist for which  $n_3 = 0$ . Each table is divided into two parts, the first containing the transitions for which  $n'_3 - n''_3 = 0$ , corresponding to "parallel" components, the second containing the transitions for which  $n'_3 - n''_3 = \pm 1$ , corresponding to "perpendicular" components.

The *second* column contains the value of  $J = n'(n'_1 - n'_2) - n''(n''_1 - n''_2)$ , which, as seen from (111), determines the displacement of the component under consideration from the undisplaced line; the *third*, *fourth* and *fifth* columns contain the values of  $\tau_1 = n'_1 - n''_1$ ,  $\tau_2 = n'_2 - n''_2$ ,  $\tau_3 = n'_3 - n''_3$ .

The *sixth* and *seventh* columns contain the values  $R'$  and  $R''$  of the "relative amplitudes" of the harmonic vibrations of frequency  $\tau_1 \omega_1 + \tau_2 \omega_2 + \tau_3 \omega_3$ , occurring in the motion in the initial and in the final state respectively; where by relative amplitude is understood the *ratio* of the amplitude of this vibration to the half major axis of the Keplerian ellipse which the electron at any moment may be considered to describe. This half major axis remains constant during the motion and is equal to the value for  $a_p$  given by (102), *i. e.* equal to the quantity  $xP^2$  occurring in the formulae (70) and (72). The expressions for the values of the relative amplitudes of the linear vibrations parallel to the field and of the circular vibrations perpendicular to the field in a given stationary state, characterised by a certain combination of the  $n$ 's, are directly obtained by introducing (110) in the formulae (70) which represent the motion of the electron parallel and perpendicular to the direction of the field. In this way we find, denoting, as in § 2, the Bessel coefficient of order  $p$  and of argument  $\rho$  by  $J_p(\rho)$ , and its derivate with respect to  $\rho$  by  $J'_p(\rho)$ ,

<sup>1)</sup> N. BOHR, *loc. cit.* Part II, p. 77.

$$\begin{aligned} R(\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2) &= \frac{2}{\tau} \left\{ \sigma_2 J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J'_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - \sigma_1 J'_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) \right\} \\ &= \frac{2}{\tau} \left\{ J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - \sigma_2 J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2+1}(\tau\sigma_2) - \sigma_1 J_{\tau_1-1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) \right\} \end{aligned} \quad (112)$$

and

$$R(\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2 + \omega_3) = \frac{1}{\tau} \left\{ \epsilon_{13} \epsilon_{23} J_{\tau_1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2}(\tau\sigma_2) - \epsilon_1 \epsilon_2 J_{\tau_1+1}(\tau\sigma_1) J_{\tau_2+1}(\tau\sigma_2) \right\} \quad (113)$$

respectively, where

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{1}{n} \sqrt{n_1(n_1+n_3)}, & \sigma_2 &= \frac{1}{n} \sqrt{n_2(n_2+n_3)}, & n &= n_1 + n_2 + n_3, \\ \epsilon_1 &= \sqrt{\frac{n_1}{n}}, & \epsilon_2 &= \sqrt{\frac{n_2}{n}}, & \tau &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \\ \epsilon_{13} &= \sqrt{\frac{n_1+n_3}{n}}, & \epsilon_{23} &= \sqrt{\frac{n_2+n_3}{n}}, \end{aligned} \quad (114)$$

If one of the quantities  $n_1$  and  $n_2$ , say  $n_2$ , becomes equal to zero the expressions for the amplitudes become much simpler. The character of the motion in the corresponding states of the atom has been considered in detail in § 3 on page 25, where it was seen that the motion of the electron in these states may be resolved in a number of linear vibrations of frequencies  $\tau_1\omega_1$  parallel to the field and a number of circular harmonic rotations of frequencies  $\tau_1\omega_1 + \omega_3$  perpendicular to the field, so that the amplitudes will be equal to zero unless  $\tau_2 = 0$ . For the expressions for the relative amplitudes of the vibrations of frequencies  $\tau_1\omega_1$  and  $\tau_1\omega_1 + \omega_3$ , we find from (72) and (110)

$$R(\tau_1\omega_1) = \frac{2}{\tau} \epsilon_1 J'_{\tau_1}(\tau\epsilon_1) = \frac{\epsilon_1}{\tau} \left\{ J_{\tau-1}(\tau\epsilon_1) - J_{\tau+1}(\tau\epsilon_1) \right\}, \quad (115)$$

$$R(\tau_1\omega_1 + \omega_3) = \frac{1}{\tau} \sqrt{\frac{n_3}{n}} J_{\tau_1}(\tau\epsilon_1), \quad (116)$$

where  $\epsilon_1 = \sqrt{\frac{n_1}{n}}$ ,  $\tau = \tau_1 + \tau_3$ ,  $n = n_1 + n_3$ , ( $n_2 = \tau_2 = 0$ ).

In the formulae (113) and (116) holding for the relative amplitudes of the circular rotations,  $\tau_3$  is considered to be equal to  $\pm 1$ . In the case where  $\tau_3 = -1$ , however, *i. e.* for transitions during which the angular momentum of the electron round the axis of the system increases by  $\hbar/2$ , we may obviously apply the same formulae if only we reverse the sign in the values for  $\tau_1$  and  $\tau_2$ . For the relative amplitudes of the linear vibrations we have both in (112) and in (115) given two expressions, the former of which is more symmetrical, while the latter lends itself better to numerical calculations as long as no tables of the functions  $J_p(\rho)$  are at hand.

The *eighth* and *ninth* columns in the tables contain the squares of  $R'$  and  $R''$ , which quantities, according to the considerations in § 5, should be expected to afford an estimate for the relative intensities of the different components. Here it

may be remarked that the introduction of the values of the "relative amplitudes" instead of the values of these amplitudes themselves offers, with reference to the considerations just mentioned, a great advantage. Thus it will be remembered that, in the case of the estimate of the intensity of a given component, we have beforehand no direct information as regards the relative importance of the values of the corresponding amplitude in the initial state and in the final state. For this reason it is of importance that in our tables the amplitudes should be characterised by numbers which for the initial states and for the final states are of the same order of magnitude, but this is just obtained by the introduction of the relative amplitudes.

Finally the *tenth* column contains the experimental values for the intensities published by STARK in his most recent paper on the Stark effect of the hydrogen lines <sup>1)</sup>. These values refer to the relative intensities of the components of same polarisation belonging to one and the same line, and are according to STARK's statement rather uncertain on account of the well known difficulties involved in the determination of these intensities from the density of the image of the components ("Schwarzung") on the photographic plates. A reproduction of STARK's photographs of  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$ ,  $H_{\delta}$  will be found on Plate II, Fig. 5. <sup>2)</sup> For the sake of completeness we have, for the lines  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$  and  $H_{\delta}$ , in an *eleventh* and *twelfth* column added the values for the relative densities of the images of the components on the photographic plate, given by STARK in his above cited monograph; the densities of the components on the red side of the undisplaced line are given in the eleventh column, those on the blue side in the twelfth column.

At the head of each table we have, for the sake of orientation, indicated the magnitude in Ångström units of the displacement corresponding to  $J = 1$  for a field strength of 100.000 Volt/cm. These values are calculated by means of the following relation, which is directly found from (111),

$$\delta\lambda = \text{displ. } (J = 1; 100.000 \text{ Volt/cm}) = 10^{-8} \frac{\lambda^2}{c} \partial\nu = 10^{-8} \frac{\lambda^2}{c} \frac{3h}{8\pi^2 N e m} \frac{10^5}{300} = \frac{1}{N} 6,41 \cdot 10^{-8} \lambda^2,$$

where  $\lambda$  represents the wave length of the spectral line, expressed in Ångström units.

When considering the tables I, II, III and IV it will in the first place be observed, that for most transitions the value of  $R'$  is equal to zero. This is due to the fact that to the stationary state of the simplified hydrogen atom characterised by  $n = 2$ , which forms the final state for the transitions giving rise to the lines of the Balmer series, there corresponds, in case an electric field is applied, only three stationary states, *viz.* [002], [101] and [011], and that the motion of the electron in these

<sup>1)</sup> J. STARK, *Ann. d. Phys.* XLVIII, p. 193 (1915).

<sup>2)</sup> J. STARK, *Elektrische Spektralanalyse chemischer Atome*, Tafel III, fig. 1. The arrows on the photograph of  $H_{\beta}$  indicate the position of the unreal lines ("Gelster") which, on account of the imperfection of the grating, accompany the image of a component situated at the place of the original line. The arrow on the photograph of  $H_{\gamma}$  indicates the position of the mercury line 4359 Å, which, as it is seen, appears with considerable intensity.



states is of an especially simple character. Thus in the state [002] the orbit of the electron is circular and perpendicular to the direction of the field, and the motion contains only the frequency  $\omega_3$ , while in the states [101] and [011] the motion contains only the frequencies  $\tau\omega_1$ ,  $\tau-1\omega_1+\omega_3$  and  $\tau\omega_2$ ,  $\tau-1\omega_2+\omega_3$  respectively. As a consequence of this there exists for each of the lines considered in the tables only one parallel component and one perpendicular component on each side of the undisplaced line for which the values of  $R'^2$  and  $R''^2$  are both different from zero, while moreover there appears in  $H_\alpha$  at the place of the undisplaced line a perpendicular component, corresponding to a transition between two circular orbits (003  $\rightarrow$  002), for which  $R'^2$  and  $R''^2$  have the maximum value 1. Just these components are seen generally to be the strongest in the observations on the Stark effect. From this we may conclude that, when estimating the intensities by the present method, the amplitudes in the final states play a part no less important than those in the initial states, in agreement with what beforehand might be expected from the principles on which this method is based. Considering further the other components for which  $R''$  is equal to zero, it will be seen from the tables that the values of  $R'^2$  give in general a good picture of the observed intensities of these components. For instance for any two components of the same polarisation of a given line the component of larger intensity corresponds generally to that for which  $R'^2$  has the larger value. In order to facilitate a comparison between the theory and the experiments we have in fig. 1, 2, 3 on Plate I and fig. 4 on Plate II represented schematically the estimate for the theoretical intensities, in such a way that the lengths of the lines representing the different components are taken proportional to the values of  $R'^2 + R''^2$ . At the same time we have in these figures reproduced the schemes, given by STARK<sup>1)</sup>, representing the result of his above mentioned recent

Table I.

 $H_\alpha$ , 6562.8 Å (3  $\rightarrow$  2).

displ. (J = 1; 100 000 Volt cM) = 2.8 Å

| Transition |                       | $\Delta$ | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | $R'$ | $R''$ | $R'^2$ | $R''^2$ | int. obs. |
|------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|------|-------|--------|---------|-----------|
| Par.       | 111 $\rightarrow$ 011 | 2        | 1        | 0        | 0        | .46  | 0     | .21    | 0       | 1         |
|            | 102 $\rightarrow$ 002 | 3        | 1        | 0        | 0        | .51  | 0     | .26    | 0       | 1,1       |
|            | 201 $\rightarrow$ 101 | 4        | 1        | 0        | 0        | .62  | .57   | .38    | .33     | 1,2       |
|            | 201 $\rightarrow$ 011 | 8        | 2        | -1       | 0        | 0    | 0     | 0      | 0       |           |
| Perp.      | 003 $\rightarrow$ 002 | 0        | 0        | 0        | 1        | 1.00 | 1.00  | 1.00   | 1.00    | 2,6       |
|            | 111 $\rightarrow$ 002 | 0        | 4        | 1        | -1       | .26  | 0     | .07    | 0       |           |
|            | 102 $\rightarrow$ 101 | 1        | 0        | 0        | 1        | .75  | .62   | .56    | .39     | 1         |
|            | 102 $\rightarrow$ 011 | 5        | 1        | -1       | 1        | 0    | 0     | 0      | 0       |           |
|            | 201 $\rightarrow$ 002 | 6        | 2        | 2        | -1       | .05  | 0     | .00    | 0       |           |

<sup>1)</sup> Ann. d. Phys. XLVIII, p. 205 (1915).

Table II.  
 $H\beta$ , 4861,3 Å ( $4 \rightarrow 2$ ).  
 displ. ( $\Delta=1$ ; 100 000 Volt/cm) = 1,52 Å

| Transition | $\Delta$              | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | $R'$ | $R''$ | $R'^2$ | $R''^2$ | int. obs. | Red   | Blue  |
|------------|-----------------------|----------|----------|----------|------|-------|--------|---------|-----------|-------|-------|
| Par.       | 112 $\rightarrow$ 002 | 0        | 1        | 1        | 0    | 0     | 0      | 0       | 1,4       | 0,10  |       |
|            | 211 $\rightarrow$ 101 | 2        | 1        | 1        | 0    | 0     | .0005  | 0       | 1,2       | 0,22  | 0,16  |
|            | (4)                   |          |          |          |      |       |        |         | 1         | 0,26  | 0,36  |
|            | 211 $\rightarrow$ 011 | 6        | 2        | 0        | .15  | 0     | .021   | 0       | 4,8       | 1,00  | 1,12  |
|            | 202 $\rightarrow$ 002 | 8        | 2        | 0        | .17  | 0     | .030   | 0       | 9,1       | 1,40  | 1,73  |
|            | 301 $\rightarrow$ 101 | 10       | 2        | 0        | .21  | .17   | .045   | .030    | 11,5      | 1,63  | 1,88  |
|            | (12)                  |          |          |          |      |       |        |         | 1         |       |       |
|            | 301 $\rightarrow$ 011 | 14       | 3        | -1       | 0    | 0     | 0      | 0       |           |       |       |
| Perp.      | (0)                   |          |          |          |      |       |        |         | 1,4       | 0,62  |       |
|            | 112 $\rightarrow$ 011 | 2        | 1        | 0        | .12  | 0     | .014   | 0       | 3,3       | 1,08  | 1,08  |
|            | 103 $\rightarrow$ 002 | 4        | 1        | 0        | .19  | 0     | .036   | 0       | 12,6      | 2,03  | 2,03  |
|            | 211 $\rightarrow$ 002 | 4        | 2        | 1        | .06  | 0     | .004   | 0       |           |       |       |
|            | 202 $\rightarrow$ 101 | 6        | 1        | 0        | .19  | .19   | .037   | .037    |           |       |       |
|            | (8)                   |          |          |          |      |       |        |         | 1,3       |       |       |
|            | 202 $\rightarrow$ 011 | 10       | 2        | -1       | 0    | 0     | 0      | 0       | 1,1       | 0,34? | 0,45? |
|            | 301 $\rightarrow$ 002 | 12       | 3        | 0        | .02  | 0     | .0005  | 0       | 1         | 0,27? | 0,25? |

Table III.  
 $H\gamma$ , 4340,5 Å ( $5 \rightarrow 2$ ).  
 displ. ( $\Delta=1$ ; 100 000 Volt/cm) = 1,21 Å

| Transition            |                       | $\Delta$ | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | $R'$ | $R''$ | $R'^2$ | $R''^2$ | int. obs. | Red   | Blue  |
|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|------|-------|--------|---------|-----------|-------|-------|
| Par.                  | 221 $\rightarrow$ 011 | 2        | 2        | 1        | 0        | .033 | 0     | .0011  | 0       | 1,6       | 0,58  | 0,58  |
|                       | 212 $\rightarrow$ 002 | 5        | 2        | 1        | 0        | .022 | 0     | .0005  | 0       | 1,5       | 0,58  | 0,52  |
|                       | 311 $\rightarrow$ 101 | 8        | 2        | 1        | 0        | .013 | 0     | .0016  | 0       | 1         | 0,19? | 0,27? |
|                       | 311 $\rightarrow$ 011 | 12       | 3        | 0        | 0        | .074 | 0     | .0055  | 0       | 2,0       | 0,67  | 0,91  |
|                       | 302 $\rightarrow$ 002 | 15       | 3        | 0        | 0        | .093 | 0     | .0086  | 0       | 7,2       | 1,56  | 1,70  |
|                       | 401 $\rightarrow$ 101 | 18       | 3        | 0        | 0        | .112 | .080  | .0125  | .0063   | 10,8      | 1,76  | 1,78  |
|                       | 401 $\rightarrow$ 011 | 22       | 4        | -1       | 0        | 0    | 0     | 0      | 0       | 1?        |       |       |
| Perp.                 | 113 $\rightarrow$ 002 | 0        | 1        | 1        | 1        | .065 | 0     | .0041  | 0       | 7,2       | 2,18  |       |
|                       | 221 $\rightarrow$ 002 | 0        | 2        | 2        | -1       | .031 | 0     | .0009  | 0       |           |       |       |
|                       | 212 $\rightarrow$ 101 | 3        | 1        | 1        | 1        | .057 | 0     | .0032  | 0       | 3,2       | 1,56  | 1,56  |
|                       | 212 $\rightarrow$ 011 | 7        | 2        | 0        | 1        | .045 | 0     | .0020  | 0       | 1,2       | 0,74  | 0,76  |
|                       | 203 $\rightarrow$ 002 | 10       | 2        | 0        | 1        | .085 | 0     | .0072  | 0       | 4,3       | 1,70  | 1,78  |
|                       | 311 $\rightarrow$ 002 | 10       | 3        | 1        | -1       | .025 | 0     | .0006  | 0       |           |       |       |
|                       | 302 $\rightarrow$ 101 | 13       | 2        | 0        | 1        | .088 | .089  | .0077  | .080    | 6,1       | 1,90  | 1,88  |
|                       | 302 $\rightarrow$ 011 | 17       | 3        | -1       | 1        | 0    | 0     | 0      | 0       | 1,1       |       | 1,51? |
| 401 $\rightarrow$ 002 | 20                    | 4        | 0        | -1       | .014     | 0    | .0002 | 0      | 1       | 0,49      | 1,51? |       |

Table IV.

 $H\delta$ , 4101.7 Å ( $6 \rightarrow 2$ ).displ. ( $\Delta=1$ ; 100 000 Volt cM) = 1.08 Å

| Transition |                       | $\Delta$ | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | $R'$ | $R''$ | $R'^2$ | $R''^2$ | int. obs. | Red     | Blue    |
|------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|------|-------|--------|---------|-----------|---------|---------|
| Par.       | $222 \rightarrow 002$ | 0        | 2        | 2        | 0        | 0    | 0     | 0      | 0       |           |         |         |
|            | $321 \rightarrow 101$ | 4        | 2        | 2        | 0        | .008 | 0     | .001   | 0       | 1         | 0.67    | 0.67    |
|            | $321 \rightarrow 011$ | 8        | 3        | 1        | 0        | .027 | 0     | .007   | 0       | 1.2       | 0.85    | 0.81    |
|            | $312 \rightarrow 002$ | 12       | 3        | 1        | 0        | .020 | 0     | .004   | 0       | 1.5       | 0.93    | 1.01    |
|            | $411 \rightarrow 101$ | 16       | 3        | 1        | 0        | .016 | 0     | .003   | 0       | 1.2       | 0.71    | 0.92    |
|            | $411 \rightarrow 011$ | 20       | 4        | 0        | 0        | .045 | 0     | .020   | 0       | 1.1       | 0.80    | 0.71    |
|            | $402 \rightarrow 002$ | 24       | 4        | 0        | 0        | .060 | 0     | .036   | 0       | 2.8       | 1.42    | 1.37    |
|            | $501 \rightarrow 101$ | 28       | 4        | 0        | 0        | .066 | .043  | .044   | .0019   | 7.2       | 1.80    | 2.00    |
|            | $501 \rightarrow 011$ | 32       | 5        | -1       | 0        | 0    | 0     | 0      | 0       | 1(?)      |         |         |
| Perp.      | $222 \rightarrow 011$ | 2        | 2        | 1        | 1        | .028 | 0     | .008   | 0       | 1.3       | 0.92    | 0.89    |
|            | $213 \rightarrow 002$ | 6        | 2        | 1        | 1        | .036 | 0     | .013   | 0       | 3.2       | 1.52    | 1.52    |
|            | $321 \rightarrow 002$ | 6        | 3        | 2        | -1       | .017 | 0     | .003   | 0       |           |         |         |
|            | $312 \rightarrow 101$ | 10       | 2        | 1        | 1        | .033 | 0     | .011   | 0       | 2.1       | 1.23    | 1.22    |
|            | $312 \rightarrow 011$ | 14       | 3        | 0        | 1        | .023 | 0     | .005   | 0       | 1         | 0.71    | 0.60    |
|            | $303 \rightarrow 002$ | 18       | 3        | 0        | 1        | .049 | 0     | .024   | 0       | 2.0       | 1.12    | 1.11    |
|            | $411 \rightarrow 002$ | 18       | 4        | 1        | -1       | .013 | 0     | .002   | 0       |           |         |         |
|            | $402 \rightarrow 101$ | 22       | 3        | 0        | 1        | .051 | .049  | .026   | .0024   | 2.4       | 1.30    | 1.30    |
|            | $402 \rightarrow 011$ | 26       | 4        | -1       | 1        | 0    | 0     | 0      | 0       | 1.3       | 0.89(?) | 0.85(?) |
|            | $501 \rightarrow 002$ | 30       | 5        | 0        | -1       | .006 | 0     | .0005  | 0       | 1(?)      | 0.73(?) | 0.67(?) |

measurements on the intensities of the components. Components the appearance of which was regarded by STARK as questionable are indicated by a ? sign.

On the whole it will be seen, that it is possible on BOHR's theory to account in a convincing way for the intensities of the Stark effect components. Before discussing in detail each of the lines observed by STARK, however, it may be useful to insert some general remarks to which a closer consideration of the preceding tables naturally gives rise.

In the first place it will be observed that the agreement between theory and experiments revealed by these tables is intimately connected with the circumstance that we have disregarded stationary states for which  $n_3 = 0$ , i. e. for which the angular momentum of the electron round an axis through the nucleus parallel to the electric force would be equal to zero (compare page 50). In fact, if such states were taken into account (it follows from what has been said in the note on page 50 that, due to the influence of the relativity modifications, the formulae (70) and (71) would not be applicable to the states in question) we should expect the appearance of a number of additional components of rather strong intensities: the absence of such components may be considered as an experimental confirmation of the non-existence of stationary states of the type under consideration. Further

it is of interest to notice that for a transition where one of the  $\tau$ 's is negative, *i. e.* during which one of the  $n$ 's increases, the value of  $R'$  is always either very small or equal to zero, and that in agreement with this the corresponding component, if observed at all, is very weak<sup>1)</sup>. It is easily seen that, from a mathematical point of view, the reason for the small values of  $R'$  in such cases lies in the circumstance that the coefficients  $C_{\tau_1} \dots \tau_s$  in a convergent trigonometric series of the type (12) not only converge to zero when the numerical value  $|\tau_1 + \dots \tau_s|$  of the sum of the  $\tau$ 's increases, but also when the sum  $|\tau_1| + \dots |\tau_s|$  of the numerical values of the  $\tau$ 's increases,  $|\tau_1 + \dots \tau_s|$  remaining constant.

Special interest is afforded by transitions of the type  $(n'_1, 0, n'_s \rightarrow 0, n''_2, n''_3)$ . For these transitions both  $R'$  and  $R''$  are equal to zero, but, as mentioned in the former section, it is not allowable from this to conclude that such transitions are impossible, in intimate connection with the fact that the amplitude of the vibration of frequency  $n'_1 \omega_1 - n''_2 \omega_2 + (n'_3 - n''_3) \omega_3$ , although equal to zero for the motion in the initial state and in the final state, is different from zero in the mechanically possible states which lie "between" these states and which are characterised by  $I_1 = \lambda n'_1$ ,  $I_2 = (1 - \lambda) n''_2$ ,  $I_3 = n''_3 + \lambda(n'_3 - n''_3)$  ( $0 < \lambda < 1$ ). As seen from the tables weak components corresponding to transitions of the type under consideration seem actually to have been observed<sup>2)</sup>.

For transitions of the type  $(a, a, c \rightarrow b, b, c)$  the amplitude of the vibration of frequency  $(a - b) \omega_1 + (a - b) \omega_2$  is equal to zero, not only in the initial state and in the final state, but also in the states characterised by  $I_1 = I_2 = b + \lambda(a - b)$ ,  $I_3 = c$ , due to the symmetry of the motion of a state for which  $I_1 = I_2$ . From this we may probably conclude that a transition of the type under consideration is impossible. In the tables we meet with two examples of such a transition, *viz.* (112 - 002) in  $H\beta$  and (222 - 002) in  $H\delta$ . In  $H\delta$  no corresponding component has been observed, but in  $H\beta$  a weak component has been recorded. The appearance of this component, however, (if not due to "Gittergeister") does not necessarily mean a disagreement with the theory, but is possibly due to the influence of the relativity modifications, as it will be discussed below.

When we consider the values of  $R'^2$  and  $R''^2$  as affording an estimate for the intensities of the components it must be remembered that in § 3 these values are calculated with neglect of small terms proportional to the first and higher powers of the electric force. It is easily seen, however, that we may look apart from these small terms, not only on account of the preliminary and approximative character of the discussion, but also because errors of at least the same order of magnitude are

<sup>1)</sup> It will be observed that the point under consideration has an interesting connection with SOMMERFELD's suggestion that only such transitions would be possible for which all  $n$ 's in (99) decrease or remain unaltered (hypothesis of the "Quantenungleichungen"). Compare A. SOMMERFELD, *Ann. d. Phys.* 1.1 p. 24 (1916). Compare also EPSTEIN's discussion of the intensities of the Stark effect components).

<sup>2)</sup> (202  $\rightarrow$  011) in  $H\beta$ ; (302  $\rightarrow$  011) in  $H\gamma$ ; (402  $\rightarrow$  011) in  $H\delta$ . Components corresponding to (401  $\rightarrow$  011) in  $H\gamma$  and (501  $\rightarrow$  011) in  $H\delta$  are recorded by STARK as questionable.

already involved in the assumption that the different initial states, corresponding to one and the same stationary state of the simplified hydrogen atom, are of equal occurrence in the luminous gas. Moreover the uncertainty involved in the estimate of the intensities from the density of the image of the components on the photographic plate is so large that, with intensities of the electric force of the order of magnitude used in STARK's experiments, a possible dependency of the relative intensities of the components on the intensity of the force cannot be brought to light experimentally. It may in this connection be of interest to remark that for states for which  $I_2 = 0$  the amplitudes of the vibrations of frequency  $\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2 + \tau_3\omega_3$  occurring in the motion of the system will, also if the first and higher powers of the electric force are taken into account, still be equal to zero if  $\tau_2$  is different from zero (compare § 3, page 25), while in general the amplitudes of the vibrations of frequency  $\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2$ , where  $\tau_1 = \tau_2$ , will be small quantities proportional to the intensity of this force in states for which  $I_1 = I_2$ .

Another point which we have disregarded in the calculations in § 3 is the influence which the modifications in the laws of mechanics, claimed by the theory of relativity, have on the motion of the electron. This influence will be treated in detail in the paper mentioned in the beginning of § 4. Here it may only be remarked that this influence will consist partly in a small effect on the frequencies of the Stark effect components, partly in a small change in the relative intensities of these components. Thus the components will, on account of the relativity modifications, be displaced from the positions determined by (111) by small quantities of the same order as  $v^2/c^2$  where  $v$  is the velocity of the electron and  $c$  the velocity of light, in such a way that the symmetry of the Stark effect will be disturbed. The intensity of the electric field applied in Stark's experiments is, however, so large that such a dissymmetry cannot be detected. Further the effect of the relativity modifications on the values of the amplitudes of the harmonic vibrations, in which the motion of the electron can be resolved, will consist in the addition of small terms of the same order as  $v^2/c^2 F$ . Especially, in a state of the atom for which  $I_1 = I_2$ , the amplitudes of the vibrations of frequencies  $\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2$ , where  $\tau_1 = \tau_2$ , will no more be equal to zero but equal to a small quantity of this order<sup>1)</sup>. Components corresponding to transitions of the type  $(a a c \rightarrow b b c)$  must therefore be expected to appear with an intensity of the same order as  $(v^2/c^2 F)^2$ . This might probably explain the appearance of the component corresponding to (112 → 002) in  $H\beta$ , mentioned in the above; this explanation is seen to claim that the intensity of the component under consideration decreases for increasing intensity of the electric field<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> The appearance of these vibrations of new frequencies in the states under consideration is analogous to the appearance of vibrations with new frequencies and of amplitudes which are of the same order as  $F c^2 / v^2$  in the problem treated in § 4.

<sup>2)</sup> On STARK's photographs of the Stark effect of  $H\beta$  for a field of 28 500 Volt cM the relative intensity of this component seems actually to be much stronger than on the photograph corresponding to a field of 74 000 Volt cM.



In § 5 it has been mentioned that we possess, quite independent of the estimate which is based on the calculation of the amplitudes of the harmonic vibrations in which the motion may be resolved, another source of information about the intensities in the fact that the polarised components in which an unpolarised spectral line is split up will, when taken together, show no characteristic polarisation in any direction. This allows of an instructive application in case of the Stark effect of  $H_{\beta}$ . In fact, adding the values for  $R'^2$  and  $R''^2$  belonging to the parallel components, we get 1.70 and 0.66 respectively, while adding the  $R'^2$ 's and  $R''^2$ 's for the perpendicular components, we obtain 2.19 and 1.78. From this it follows that the intensities of the perpendicular components compared with those of the parallel components must, for the hydrogen line under consideration, be expected to be considerably smaller than it would follow from a direct comparison with the values of  $R'^2$  and  $R''^2$ . Especially the component corresponding to a transition between two circular orbits perpendicular to the direction of the electric force, (003  $\rightarrow$  002), will be much less intense than the values of  $R'^2$  and  $R''^2$  would indicate. In an even more striking way a consideration of this kind applies to the ultra-violet hydrogen line (2  $\rightarrow$  1), for which the values of the  $n$ 's in the stationary states are still smaller. Thus, under the influence of an electric field, this line will split up in two parallel symmetrical components of equal intensity, (101  $\rightarrow$  001) and (011  $\rightarrow$  001) ( $R'^2 = 0.33$ ,  $R''^2 = 0$ ), and one perpendicular component (002  $\rightarrow$  001) ( $R'^2 = 1$ ,  $R''^2 = 1$ ), and since the sum of the intensities of the former must be equal to the intensity of the latter, we see that the tendency for a transition between the two circular orbits [002] and [001] is again much less than it might have been expected from a direct consideration of the values of  $R'^2$  and  $R''^2$ . In the discussion in § 7 of the fine structure and in § 8 of the Zeeman effect of the hydrogen lines we shall meet with analogous phenomena as regards the transitions between circular orbits. In the case of the Stark effect of  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$  and  $H_{\delta}$  there are so many components that it is impossible to draw any further conclusion from the fact that the sum of the intensities of the parallel and of the circular components must be the same.

The fact that the tendency for a transition between two stationary states in which the electron describes a circular orbit is less than would be expected from the corresponding values of the  $R$ 's ( $R' = R'' = 1$ ) stands probably in close connection with the fact, to be mentioned in the following (see page 61), that the tendency for other transitions to final states in which the electron describes a circular orbit (for such transitions  $R''$  is always equal to zero) is larger than would be expected from a consideration of the amplitudes of the corresponding harmonic vibration in the motion of the electron. Thus both these facts clearly indicate a tendency of the estimate of the probability of transition between two stationary states based on a consideration of the motion in these states (and in the states lying "between") — in contrast to other mechanical states of the system — to give *exaggerated* results in cases where these motions show singularities. On the whole it will be seen, from the following discussion, that the experiments on the Stark

effect not only afford a confirmation of the validity of the considerations in § 5, but also, in many respects, seem to give indications of the way in which these considerations may be extended.

Let us now discuss more closely each of the lines considered in the tables.

As regards  $H_{\alpha}$  it is seen that the intensity of the undisplaced perpendicular component has been found to be the strongest of all components observed, in agreement with what should be expected from the large values of the corresponding quantities  $R'^2$  and  $R''^2$ . Further it is seen that the increase of the intensities of the parallel components in the direction of increasing  $J$  is very well illustrated by the values of the corresponding  $R$ 's. In addition to the components observed, the theory predicts the existence of weak parallel components at  $J = \pm 8$  and of weak perpendicular components at  $J = \pm 5$  and  $J = \pm 6$ .

For  $H_{\beta}$  STARK records parallel as well as perpendicular components corresponding to  $J = 2, 4, 6, 8, 10$  and  $12$ , but, according to STARK's own statement, it was very difficult to obtain good photographs of the Stark effect of this line, and a long exposure was necessary in order to obtain all components on the plate. These difficulties may account for the small discrepancies which seem to exist between the different observations on one hand and between these observations and the theory on the other hand, since during the long exposure any unreal component ("Geist") due to the imperfection of the grating would have special opportunity to appear. Thus according to the theory no parallel components at  $J = 4$  (and  $J = 12$ ) and no perpendicular components at  $J = 0$  and  $J = 8$  should appear, while STARK's photographs would indicate the existence of such components. (It must, however, be remarked that, as seen from the table, the perpendicular component at  $J = 8$  was not recorded in STARK's publications before 1915). Further the intensity of the perpendicular component  $J = 6$  would according to the theory be stronger than the perpendicular component  $J = 4$ , in agreement with the photograph reproduced in fig. 5 on Plate II, but in disagreement with the values 9.7 and 12.6 for the relative intensities of these components appearing in the 10<sup>th</sup> column of Table II. The possibility for the appearance of a parallel component at  $J = 0$  has been discussed on page 58 and 59. On the whole it will be seen that the agreement between the theory and the observations is satisfactory, and it seems probable that this agreement will be improved by further experiments.

In case of the Stark effect of  $H_{\gamma}$  it is seen that the agreement between the measurements and the estimate afforded by the theory is rather distinct for most components; but the perpendicular component at  $J = 0$  (113 · 002), and also the parallel component at  $J = 5$  (212 · 002), appear undoubtedly stronger than we would expect from the corresponding values of  $R'$ . This may have connection with the fact that, for the corresponding transitions, the final states correspond to a circular orbit of the electron (compare page 60).

In case of the Stark effect of  $H_{\delta}$  it is especially satisfactory that it has been possible to explain the non-appearance of a component corresponding to the trans-

Table V.  
 $H_{\varepsilon}$ , 3971.2 Å ( $7 \rightarrow 2$ ).  
 displ. ( $\Delta = 1$ ; 100 000 V/cm) = 1.01 Å

| Transition            |                       | J  | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | R     | R'   | R''    | R'''  |
|-----------------------|-----------------------|----|----------|----------|----------|-------|------|--------|-------|
| Par.                  | 331 $\rightarrow$ 011 | 2  | 3        | 2        | 0        | .011  | 0    | .0001  | 0     |
|                       | 322 $\rightarrow$ 002 | 7  | 3        | 2        | 0        | .004  | 0    | .0000  | 0     |
|                       | 421 $\rightarrow$ 101 | 12 | 3        | 2        | 0        | .0005 | 0    | .0000  | 0     |
|                       | 421 $\rightarrow$ 011 | 16 | 4        | 1        | 0        | .020  | 0    | .0004  | 0     |
|                       | 512 $\rightarrow$ 002 | 21 | 4        | 1        | 0        | .016  | 0    | .0003  | 0     |
|                       | 511 $\rightarrow$ 101 | 26 | 4        | 1        | 0        | .014  | 0    | .0002  | 0     |
|                       | 511 $\rightarrow$ 011 | 30 | 5        | 0        | 0        | .031  | 0    | .0010  | 0     |
|                       | 502 $\rightarrow$ 002 | 35 | 5        | 0        | 0        | .046  | 0    | .0021  | 0     |
|                       | 601 $\rightarrow$ 101 | 40 | 5        | 0        | 0        | .049  | .026 | .0024  | .0007 |
| 601 $\rightarrow$ 011 | 44                    | 6  | -1       | 0        | 0        | 0     | 0    | 0      |       |
| Perp.                 | 223 $\rightarrow$ 002 | 0  | 2        | 2        | 1        | .022  | 0    | .0005  | 0     |
|                       | 331 $\rightarrow$ 002 | 0  | 3        | 3        | -1       | .012  | 0    | .0001  | 0     |
|                       | 322 $\rightarrow$ 101 | 5  | 2        | 2        | 1        | .019  | 0    | .0004  | 0     |
|                       | 322 $\rightarrow$ 011 | 9  | 3        | 1        | 1        | .017  | 0    | .0003  | 0     |
|                       | 313 $\rightarrow$ 002 | 14 | 3        | 1        | 1        | .023  | 0    | .0005  | 0     |
|                       | 421 $\rightarrow$ 002 | 14 | 4        | 2        | -1       | .011  | 0    | .0001  | 0     |
|                       | 412 $\rightarrow$ 101 | 19 | 3        | 1        | 1        | .022  | 0    | .0005  | 0     |
|                       | 512 $\rightarrow$ 011 | 23 | 4        | 0        | 1        | .014  | 0    | .0002  | 0     |
|                       | 403 $\rightarrow$ 002 | 28 | 4        | 0        | 1        | .033  | 0    | .0011  | 0     |
|                       | 511 $\rightarrow$ 002 | 28 | 5        | 1        | -1       | .008  | 0    | .0001  | 0     |
|                       | 502 $\rightarrow$ 101 | 33 | 4        | 0        | 1        | .033  | .030 | .0011  | .0009 |
|                       | 502 $\rightarrow$ 011 | 37 | 5        | -1       | 1        | 0     | 0    | 0      | 0     |
|                       | 601 $\rightarrow$ 002 | 42 | 6        | 0        | -1       | .007  | 0    | .00005 | 0     |

ition (222  $\rightarrow$  002). (The relative modifications would, as mentioned above, give rise to the appearance of this component with a small intensity inversely proportional to the square of the electric force, but it is easily seen that in the present case this effect must be expected to be much less than in the case of the analogous component in  $H_{\beta}$ .) A discrepancy between the values of  $R''$  and the observed intensities seems to exist in the case of the weak parallel components. Thus the component at  $J = 12$  appears stronger, while the component at  $J = 20$  appears perhaps weaker than it would be expected from the corresponding values of  $R''$ . Further the perpendicular component at  $J = 6$  appears stronger than we should expect from the table. These discrepancies are more or less analogous to those observed in case of  $H_{\gamma}$ ; thus the parallel component at  $J = 12$  and the perpendicular component at  $J = 6$  may be considered as analogous to the components  $J = 5$  and  $J = 0$  in  $H_{\gamma}$ , and correspond also to transitions for which the electron in the final state [002] describes a circular orbit. As regards the problems in question it may further be observed that, especially in the case of  $H_{\gamma}$  and  $H_{\delta}$ , the value  $n = 2$  in the final

states is so small in comparison with the value of  $n$  in the initial states, that we cannot be astonished to find that a simple consideration of the values of the  $R$ 's in the stationary states is unable to account for the finer details of the intensity distribution. In a case like this we are naturally induced to try to improve the estimate of the relative components by taking into account the values of the  $R$ 's in the states lying "between" the initial states and the final states (compare § 5, page 48); it may, however, be shown that by means of such a consideration the estimate would not be essentially modified as regards the intensities of components corresponding to transitions for which the electron in the final state describes a circular orbit<sup>1)</sup>.

In the preceding pages we have compared the theory with the observations on the Stark effect for the first four lines of the Balmer series. Owing to the agreement obtained it seems possible to predict the character of the Stark effect of other hydrogen lines which have not yet been experimentally investigated, and which correspond to other values of  $n'$  and  $n''$  in (111). In Table V we have therefore given a scheme of the values of the  $R$ 's referring to the Stark effect components of  $H_\epsilon$  ( $7 \rightarrow 2$ ), and in fig. 6 on Plate II a schematic picture of the theoretical estimate of the intensities of these components, obtained, just as the analogous schemes in fig. 1 ... 4, by taking the lengths of the lines which represent the components proportional to  $R'^2 + R''^2$ . It must, however, be remarked that we may expect, in

<sup>1)</sup> This will be seen from a consideration of the following table in which, for the parallel components of  $H_\beta$ , we have, besides the values of  $R$  in the initial state and in the final state, given also the value  $R_m$  which  $R$  takes in the mechanical state lying in the middle between the initial and the final state ( $I_k = \frac{1}{2}(n_k' + n_k'')h$ , ( $k = 1, 2, 3$ )). The values of  $R_m$  give no indications of a tendency for the component  $\Delta = 12$  to appear stronger than it would be expected from the values of  $R'$  only. On the other hand the ratio of  $R_m$  to  $R'$  is, for the component  $\Delta = 20$ , much less than for the other components; this may be connected with the fact, mentioned in the text, that this component appears with

| Transition                                      | $J$ | $R'$ | $R_m$ | $R''$ |
|---|-----|------|-------|-------|
| $222 \rightarrow (1, 1, 2) \rightarrow 002$     | 0   | 0    | 0     | 0     |
| $321 \rightarrow (2, 1, 1) \rightarrow 101$     | 4   | .008 | .009  | 0     |
| $321 \rightarrow (1.5, 1.5, 1) \rightarrow 011$ | 8   | .027 | .023  | 0     |
| $312 \rightarrow (1.5, 0.5, 2) \rightarrow 002$ | 12  | .020 | .017  | 0     |
| $411 \rightarrow (2.5, 0.5, 1) \rightarrow 101$ | 16  | .016 | .014  | 0     |
| $411 \rightarrow (2, 1, 1) \rightarrow 011$     | 20  | .045 | .023  | 0     |
| $402 \rightarrow (2, 0, 2) \rightarrow 002$     | 24  | .030 | .016  | 0     |
| $501 \rightarrow (3, 0, 1) \rightarrow 101$     | 28  | .066 | .065  | .043  |
| $501 \rightarrow (2.5, 0.5, 1) \rightarrow 011$ | 32  | 0    | .007  | 0     |

less intensity than was to be anticipated from the value of  $R'$ . The value of  $R_m$  for the component  $J = 32$ , for which both  $R'$  and  $R''$  are equal to zero, suggests that this component will appear with an intensity of the same order of magnitude as the component  $J = 4$ .

analogy with what was the case for  $H_{\gamma}$  and  $H_{\delta}$ , that this estimate will be exaggerated in the case of components corresponding to transitions for which the electron in the final states describes a circular orbit ( $J = 7$ ,  $J = 21$ ;  $J = 0$ ,  $J = 14$ ), in such a way that these components will appear stronger than it would be expected from the values of  $R'^2$  in Table V.

The considerations in this chapter may naturally also be applied to the problem of the Stark effect of the lines of the helium spectrum which correspond to  $N = 2$  in (105). The experimental data for these lines, however, are not nearly so complete as for the hydrogen lines, only a few measurements referring to the strong visible line 4686 Å ( $4 \rightarrow 3$ ) and to the ultra-violet lines 3203 Å ( $5 \rightarrow 3$ ) and 2733 Å ( $6 \rightarrow 3$ ) having been published. When a strong electric field is applied we must expect that the lines in question will show a symmetrical resolution in a number of components the frequencies of which can be obtained from (111), and an estimate of the relative intensities of which can be obtained from the preceding considerations. Table VI contains the values of  $R'^2$  and  $R''^2$  corresponding to the components of the Stark effect of 4686 Å, while fig. 7 on Plate III contains the schematical picture of the theoretical intensities. An observation on the Stark effect of the 4686 Å line in helium for a comparatively small electric field has been published by EVANS and CROXSON<sup>1)</sup> and is also contained in a recent paper by NYQUIST<sup>2)</sup> on the effect of an electric field on the helium spectrum. The photographs of both these authors show distinctly that the resolution of the line in question is symmetrical, but the electric field used in their experiments was not strong enough to separate the different components the existence of which is claimed by the theory. Thus EVANS and CROXSON observed only a symmetrical broadening of the line, but in NYQUIST's photographs the line in question was resolved into an undisplaced perpendicular component and two symmetrical parallel components, which are indicated in fig. 7 by arrows. The distance of each of the latter from the undisplaced line amounted to 3.2 Å for a field of 100,000 Volt/cm (the largest intensity of the field in the experiments amounted to 38600 Volt/cm). This would correspond to a value of  $J$  equal to  $3.2/0.71 = 4.5$  which value is seen to be in excellent agreement with the position of the centre of gravity to be expected for the strong theoretical parallel components at  $J = 2, 3, 4, 5$  and 6 (compare Table VI and fig. 7).

Measurements on the effect of an electric field on the ultra violet helium lines 3203 Å ( $5 \rightarrow 3$ ) and 2733 Å ( $6 \rightarrow 3$ ) have recently been published by STARK<sup>3)</sup>. Also in these experiments the intensity of the electric field, which amounted to 28500 Volt/cm, was not strong enough to obtain separately the different theoretical components. Tables VII and VIII, which are arranged in the same way as the preceding tables, contain the values of  $R'^2$  and  $R''^2$  corresponding to these components, while fig. 8 and 9 on plate III contain a schematical picture of the results obtained in

<sup>1)</sup> E. J. EVANS and C. CROXSON, Phil. Mag. XXXII, p. 327 (1916).

<sup>2)</sup> H. NYQUIST, Phys. Rev. X, p. 226 (1917).

<sup>3)</sup> J. STARK, Ann. d. Phys. LVI, p. 569 (1918).



Table VI.  
Helium, 4686 Å ( $4 \rightarrow 3$ ).  
displ. ( $\mathcal{L} = 1$ ; 100 000 Volt/cm) = 0,71 Å

| Transition            |                       | $\mathcal{L}$ | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | $R$  | $R'$ | $R^2$ | $R'^2$ |
|-----------------------|-----------------------|---------------|----------|----------|----------|------|------|-------|--------|
| Par.                  | 121 $\rightarrow$ 021 | 2             | 1        | 0        | 0        | .37  | 0    | .14   | 0      |
|                       | 112 $\rightarrow$ 012 | 3             | 1        | 0        | 0        | .42  | 0    | .18   | 0      |
|                       | 211 $\rightarrow$ 111 | 4             | 1        | 0        | 0        | .55  | .46  | .30   | .21    |
|                       | 103 $\rightarrow$ 003 | 4             | 1        | 0        | 0        | .45  | 0    | .21   | 0      |
|                       | 202 $\rightarrow$ 102 | 5             | 1        | 0        | 0        | .57  | .50  | .33   | .25    |
|                       | 301 $\rightarrow$ 201 | 6             | 1        | 0        | 0        | .63  | .62  | .40   | .39    |
|                       | 211 $\rightarrow$ 021 | 10            | 2        | -1       | 0        | .01  | 0    | .00   | 0      |
|                       | 202 $\rightarrow$ 012 | 11            | 2        | -1       | 0        | 0    | 0    | 0     | 0      |
|                       | 301 $\rightarrow$ 111 | 12            | 2        | -1       | 0        | 0    | .01  | 0     | .00    |
| 301 $\rightarrow$ 021 | 18                    | 3             | -2       | 0        | 0        | 0    | 0    | 0     |        |
| Perp.                 | 004 $\rightarrow$ 003 | 0             | 0        | 0        | 1        | 1.00 | 1.00 | 1.00  | 1.00   |
|                       | 112 $\rightarrow$ 111 | 0             | 0        | 0        | 1        | .67  | .58  | .45   | .33    |
|                       | 112 $\rightarrow$ 003 | 0             | 1        | 1        | -1       | .19  | 0    | .04   | 0      |
|                       | 103 $\rightarrow$ 102 | 1             | 0        | 0        | 1        | .81  | .75  | .66   | .56    |
|                       | 211 $\rightarrow$ 102 | 1             | 1        | 1        | -1       | .28  | 0    | .08   | 0      |
|                       | 202 $\rightarrow$ 201 | 2             | 0        | 0        | 1        | .62  | .49  | .39   | .21    |
|                       | 112 $\rightarrow$ 021 | 6             | 1        | -1       | 1        | .04  | 0    | .00   | 0      |
|                       | 103 $\rightarrow$ 012 | 7             | 1        | -1       | 1        | 0    | 0    | 0     | 0      |
|                       | 211 $\rightarrow$ 012 | 7             | 2        | 0        | -1       | .01  | 0    | .00   | 0      |
|                       | 202 $\rightarrow$ 111 | 8             | 1        | -1       | 1        | 0    | .04  | 0     | .00    |
|                       | 202 $\rightarrow$ 003 | 8             | 2        | 0        | -1       | .04  | 0    | .00   | 0      |
|                       | 301 $\rightarrow$ 102 | 9             | 2        | 0        | -1       | .04  | .02  | .00   | .00    |
|                       | 202 $\rightarrow$ 021 | 14            | 2        | -2       | 1        | 0    | 0    | 0     | 0      |
|                       | 301 $\rightarrow$ 012 | 15            | 3        | -1       | -1       | 0    | 0    | 0     | 0      |

these tables. In the case of the line 3203 Å STARK records two symmetrical parallel and two symmetrical perpendicular components which for a field of 100.000 Volt/cm would be displaced from the original line by an amount 3,8 Å and 1,9 Å respectively. These displacements would correspond to  $\mathcal{L} = 1,9/0,33 = 5,7$  and  $\mathcal{L} = 3,8/0,33 = 11,5$  respectively; as seen from fig. 8, in which the positions of the components observed by STARK are indicated by arrows, this is in excellent agreement with what we theoretically should expect. In the case of the line 2733 Å STARK records two symmetrical pairs of parallel components, which for a field of 100.000 Volt/cm would be displaced from the original position of the line by 1,2 Å and 5,1 Å respectively, while their relative intensities are indicated by the numbers (1) and (6) respectively; and one symmetrical pair of perpendicular components, which for a field of 100.000 Volt/cm would be displaced from the original line by 3,7 Å, and the relative intensities of which are indicated by the number (4), together with an undisplaced perpendicular component, the intensity of which is indicated by the number (7). The values of  $\mathcal{L}$

Table VII.  
Helium, 3203 Å ( $5 \rightarrow 3$ ).  
displ. ( $\mathcal{L} = 1$ ; 100 000 Volt/cm) = 0.33 Å

| Transition | $\mathcal{L}$         | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | $R$ | $R'$ | $R''$ | $R'''$ |
|------------|-----------------------|----------|----------|----------|-----|------|-------|--------|
| Par.       | 221 $\rightarrow$ 111 | 0        | 1        | 1        | 0   | 0    | 0     | 0      |
|            | 113 $\rightarrow$ 003 | 0        | 1        | 1        | 0   | 0    | 0     | 0      |
|            | 212 $\rightarrow$ 102 | 2        | 1        | 1        | 0   | .02  | 0     | .000   |
|            | 311 $\rightarrow$ 201 | 4        | 1        | 1        | 0   | .03  | 0     | .001   |
|            | 221 $\rightarrow$ 021 | 6        | 2        | 0        | 0   | .10  | 0     | .010   |
|            | 212 $\rightarrow$ 012 | 8        | 2        | 0        | 0   | .10  | 0     | .009   |
|            | 311 $\rightarrow$ 111 | 10       | 2        | 0        | 0   | .17  | .10   | .029   |
|            | 203 $\rightarrow$ 003 | 10       | 2        | 0        | 0   | .15  | 0     | .023   |
|            | 302 $\rightarrow$ 102 | 12       | 2        | 0        | 0   | .19  | .13   | .037   |
|            | 401 $\rightarrow$ 201 | 14       | 2        | 0        | 0   | .22  | .20   | .047   |
|            | 311 $\rightarrow$ 021 | 16       | 3        | -1       | 0   | .01  | 0     | .000   |
|            | 302 $\rightarrow$ 012 | 18       | 3        | -1       | 0   | 0    | 0     | 0      |
|            | 401 $\rightarrow$ 111 | 20       | 3        | -1       | 0   | 0    | .01   | .000   |
|            | 401 $\rightarrow$ 021 | 26       | 4        | -2       | 0   | 0    | 0     | 0      |
| Perp.      | 122 $\rightarrow$ 021 | 1        | 1        | 0        | 1   | .08  | 0     | .006   |
|            | 113 $\rightarrow$ 012 | 3        | 1        | 0        | 1   | .12  | 0     | .015   |
|            | 221 $\rightarrow$ 012 | 3        | 2        | 1        | -1  | .05  | 0     | .003   |
|            | 212 $\rightarrow$ 111 | 5        | 1        | 0        | 1   | .14  | .10   | .019   |
|            | 104 $\rightarrow$ 003 | 5        | 1        | 0        | 1   | .18  | 0     | .033   |
|            | 212 $\rightarrow$ 003 | 5        | 2        | 1        | -1  | .04  | 0     | .002   |
|            | 203 $\rightarrow$ 102 | 7        | 1        | 0        | 1   | .20  | .20   | .040   |
|            | 311 $\rightarrow$ 102 | 7        | 2        | 1        | -1  | .07  | 0     | .005   |
|            | 302 $\rightarrow$ 201 | 9        | 1        | 0        | 1   | .18  | .16   | .032   |
|            | 212 $\rightarrow$ 021 | 11       | 2        | -1       | 1   | .025 | 0     | .001   |
|            | 203 $\rightarrow$ 012 | 13       | 2        | -1       | 1   | 0    | 0     | 0      |
|            | 311 $\rightarrow$ 012 | 13       | 3        | 0        | -1  | .02  | 0     | .0005  |
|            | 302 $\rightarrow$ 111 | 15       | 2        | -1       | 1   | 0    | .015  | 0      |
|            | 302 $\rightarrow$ 003 | 15       | 3        | 0        | -1  | .02  | 0     | .0005  |
|            | 401 $\rightarrow$ 102 | 17       | 3        | 0        | -1  | .02  | .01   | .0005  |
|            | 302 $\rightarrow$ 021 | 21       | 3        | -2       | 1   | 0    | 0     | 0      |
|            | 401 $\rightarrow$ 012 | 23       | 4        | -1       | -1  | 0    | 0     | 0      |

corresponding to the observed parallel components are  $1.2 \pm 0.24 = 5.0$  and  $5.1 \pm 0.24 = 21.2$  respectively, and the values of  $\mathcal{L}$  corresponding to the observed perpendicular components are  $3.7 \pm 0.24 = 15.4$  and 0 respectively; as regards the outer parallel components these values are, as seen from fig. 9, where again the positions of the components observed by STARK are indicated by arrows, in excellent agreement with the positions of the centres of gravity of the strongest components in the theoretical effect. As regards the two inner parallel components, however, we should, on the theory, rather expect the appearance of a single diffuse line in stead of two separate compo-

Table VIII.  
Helium, 2733 Å (6 → 3).  
displ. ( $J=1$ ; 100 000 Volt eM) = 0.24 Å

| Transition            | $J$                     | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | $R'$ | $R''$ | $R'^2$ | $R''^2$ |       |
|-----------------------|-------------------------|----------|----------|----------|------|-------|--------|---------|-------|
| Par.                  | 231 $\rightarrow$ 021 ) | 0        | 2        | 1        | 0    | .034  | 0      | .0012   | 0     |
|                       | 321 $\rightarrow$ 201 ) | 0        | 1        | 2        | 0    | .034  | 0      | .0012   | 0     |
|                       | 222 $\rightarrow$ 012   | 3        | 2        | 1        | 0    | .030  | 0      | .0009   | 0     |
|                       | 321 $\rightarrow$ 111 ) | 6        | 2        | 1        | 0    | .028  | .030   | .0008   | .0009 |
|                       | 213 $\rightarrow$ 003 ) | 6        | 2        | 1        | 0    | .020  | 0      | .0004   | 0     |
|                       | 312 $\rightarrow$ 102   | 9        | 2        | 1        | 0    | .015  | 0      | .0002   | 0     |
|                       | 321 $\rightarrow$ 021 ) | 12       | 3        | 0        | 0    | .046  | 0      | .0022   | 0     |
|                       | 411 $\rightarrow$ 201 ) | 12       | 2        | 1        | 0    | .006  | 0      | .0000   | 0     |
|                       | 312 $\rightarrow$ 012   | 15       | 3        | 0        | 0    | .064  | 0      | .0040   | 0     |
|                       | 411 $\rightarrow$ 111 ) | 18       | 3        | 0        | 0    | .086  | .024   | .0073   | .0006 |
|                       | 303 $\rightarrow$ 003 ) | 18       | 3        | 0        | 0    | .079  | 0      | .0063   | 0     |
|                       | 402 $\rightarrow$ 102   | 21       | 3        | 0        | 0    | .101  | .052   | .0101   | .0027 |
|                       | 411 $\rightarrow$ 021 ) | 24       | 4        | -1       | 0    | .010  | 0      | .0001   | 0     |
|                       | 501 $\rightarrow$ 201 ) | 24       | 3        | 0        | 0    | .114  | .101   | .0130   | .0101 |
| 402 $\rightarrow$ 012 | 27                      | 4        | -1       | 0        | 0    | 0     | 0      | 0       |       |
| 501 $\rightarrow$ 111 | 30                      | 4        | -1       | 0        | 0    | .004  | 0      | .0000   |       |
| 501 $\rightarrow$ 021 | 36                      | 5        | -2       | 0        | 0    | 0     | 0      | 0       |       |
| Perp.                 | 222 $\rightarrow$ 111 ) | 0        | 1        | 1        | 1    | .061  | .067   | .0037   | .0037 |
|                       | 114 $\rightarrow$ 003 ) | 0        | 1        | 1        | 1    | .062  | 0      | .0038   | 0     |
|                       | 222 $\rightarrow$ 003 ) | 0        | 2        | 2        | -1   | .023  | 0      | .0005   | 0     |
|                       | 213 $\rightarrow$ 102 ) | 3        | 1        | 1        | 1    | .060  | 0      | .0036   | 0     |
|                       | 321 $\rightarrow$ 102 ) | 3        | 2        | 2        | -1   | .031  | 0      | .0009   | 0     |
|                       | 222 $\rightarrow$ 021 ) | 6        | 2        | 0        | 1    | .023  | 0      | .0005   | 0     |
|                       | 312 $\rightarrow$ 201 ) | 6        | 1        | 1        | 1    | .046  | 0      | .0021   | 0     |
|                       | 213 $\rightarrow$ 012 ) | 9        | 2        | 0        | 1    | .046  | 0      | .0021   | 0     |
|                       | 321 $\rightarrow$ 012 ) | 9        | 3        | 1        | -1   | .017  | 0      | .0003   | 0     |
|                       | 312 $\rightarrow$ 111 ) | 12       | 2        | 0        | 1    | .055  | .023   | .0031   | .0005 |
|                       | 204 $\rightarrow$ 003 ) | 12       | 2        | 0        | 1    | .079  | 0      | .0062   | 0     |
|                       | 312 $\rightarrow$ 003 ) | 12       | 3        | 1        | -1   | .017  | 0      | .0003   | 0     |
|                       | 303 $\rightarrow$ 102 ) | 15       | 2        | 0        | 1    | .089  | .079   | .0080   | .0062 |
|                       | 411 $\rightarrow$ 102 ) | 15       | 3        | 1        | -1   | .029  | 0      | .0009   | 0     |
|                       | 312 $\rightarrow$ 021 ) | 18       | 3        | -1       | 1    | .013  | 0      | .0002   | 0     |
|                       | 402 $\rightarrow$ 201 ) | 18       | 2        | 0        | 1    | .084  | .084   | .0071   | .0071 |
|                       | 303 $\rightarrow$ 012 ) | 21       | 3        | -1       | 1    | 0     | 0      | 0       | 0     |
|                       | 411 $\rightarrow$ 012 ) | 21       | 4        | 0        | -1   | .014  | 0      | .0002   | 0     |
|                       | 402 $\rightarrow$ 111 ) | 24       | 3        | -1       | 1    | 0     | .007   | 0       | .0000 |
|                       | 402 $\rightarrow$ 003 ) | 24       | 4        | 0        | -1   | .013  | 0      | .0002   | 0     |
|                       | 501 $\rightarrow$ 102   | 27       | 4        | 0        | -1   | .013  | .005   | .0002   | .0000 |
|                       | 402 $\rightarrow$ 021   | 30       | 4        | -2       | 1    | 0     | 0      | 0       | 0     |
|                       | 501 $\rightarrow$ 012   | 33       | 5        | -1       | -1   | 0     | 0      | 0       | 0     |

nents, because the theoretical intensities of the parallel components at  $J = 6$  and the parallel component at  $J = 0$  are of the same order of magnitude. It is therefore of interest to note that STARK (see loc. cit., p. 575) only has observed a single, very weak, diffuse component, and that he from analogy with the character of the Stark effect of  $H_\alpha$  for small intensity of the electric force, has suspected this component to consist of two symmetrical components.

In connection with the above considerations it may be of interest to emphasize that a comparison of the observations on the Stark effect of the helium lines in question with the results to be expected on the quantum theory could not have been obtained by a direct consideration of the frequencies of the components, calculated by means of relation (1) from the values of the energy in the stationary states of the atom, but that it was of essential importance for the above comparison that we were able to obtain an estimate of the relative intensities of these components by means of a closer consideration of the motion of the electron in the atom.

## § 7. The fine structure of the hydrogen lines.

In this chapter we will give, from the point of view of BOHR's theory, a discussion of the intensities of the components of the fine structure of the hydrogen lines and of the analogous helium lines, and it will be shown that it is possible to account in a suggestive way for the observations, especially in the case of the helium lines, the fine structure of which has been carefully investigated by PASCHEN<sup>1)</sup>. Let us first consider the general expression for the frequency of the radiation which may be emitted from a hydrogen atom which is uninfluenced by external forces and in which the motion of the particles is assumed to be governed by the laws of relativistic mechanics. According to (99) the stationary states of the atom are fixed by putting the quantities  $I_1$  and  $I_2$ , defined by (23) in § 2, equal to entire multiples of PLANCK's constant  $h$  (compare page 39):

$$I_1 = n_1 h, \quad I_2 = n_2 h. \quad (117)$$

While  $n_1$  may take one of the values  $0, 1, 2, \dots$ , it must be assumed that  $n_2$  can only take one of the values  $1, 2, 3, \dots$ . In fact,  $n_2 = 0$  would correspond to a motion in which the angular momentum of the electron round the nucleus would be equal to zero, but such a motion can obviously not correspond to a stationary state of the atom because the electron would collide with the nucleus. Introducing (117) in (24) and writing  $n_1 + n_2 = n$  we get, with neglect of small quantities of the same order of magnitude as the second and higher powers of  $(v/c)^2$ , for the total energy of the atom in the stationary states

$$E = -\frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{h^2 n^2} \left[ 1 + \left( \frac{\pi N e^2}{hc} \right)^2 \left( -\frac{3}{n^2} + \frac{4}{n n_2} \right) \right]. \quad (118)$$

<sup>1)</sup> F. PASCHEN, Ann. d. Phys. L., p. 901 (1916).

Denoting the values of  $n_1$ ,  $n_2$  and  $n$  in the initial state and in the final state of a given transition by  $n'_1$ ,  $n'_2$ ,  $n'$  and  $n''_1$ ,  $n''_2$ ,  $n''$  respectively, we get according to (1) for the frequency of the radiation emitted during this transition

$$\nu = \nu_0 + \nu_1 + \nu_2, \quad (119)$$

where

$$\nu_0 = KN^2 \left( \frac{1}{n''_2} - \frac{1}{n''_1} \right), \quad K = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3} \left( \frac{M}{M+m} \right)^2 \quad (120)$$

$$\nu_1 = -\frac{3}{4} K \alpha^2 N^4 \left( \frac{1}{n''_1} - \frac{1}{n'_1} \right), \quad \alpha = \frac{2\pi e^2}{hc} \quad (121)$$

$$\nu_2 = K \alpha^2 N^4 \left( \frac{1}{n''_2 n''_1} - \frac{1}{n'_2 n'_1} \right). \quad (122)$$

The expression for  $\nu_0$  coincides with the simple formula (105) for the frequencies of the lines of the hydrogen spectrum ( $N=1$ ) and of the analogous helium lines ( $N=2$ ), which holds when the relativity modifications are neglected. The expression for  $\nu_2$  is determinative for the frequency differences of the fine structure components of a spectral line corresponding to given values of  $n'$  and  $n''$ , while  $\nu_1$ , which contains only  $n'$  and  $n''$ , has influence only on the absolute values of the frequencies of these components. In the following a hydrogen line which corresponds to a transition from an initial state  $n=n'$  to a final state  $n=n''$  will again be characterised by the symbol  $(n' \rightarrow n'')$ . In the same way a transition between an initial state  $n_1=n'_1$ ,  $n_2=n'_2$  and a final state  $n_1=n''_1$ ,  $n_2=n''_2$  will be denoted by  $(n'_1, n'_2 \rightarrow n''_1, n''_2)$ . The ensemble of components corresponding to all imaginable transitions between stationary states for which  $n'$  and  $n''$  have the same values will be obtained by letting  $n''_2$  assume each of the values  $1, 2, \dots, n''$  and  $n''_1$  each of the values  $1, 2, \dots, n'$ . If all transitions between stationary states were possible, the fine structure of a given line would therefore consist of a set of  $n' - n''$  components. On account of  $n''$  being smaller than  $n'$ , this set may conveniently be described as consisting of  $n''$  congruent groups each containing  $n'$  components. Thus the line  $(3 \rightarrow 2)$  would show two congruent triplets, the line  $(4 \rightarrow 3)$  three congruent quartets, a. s. o. It must, however, be remarked that these groups will in general partly overlap each other (compare fig. 10, 11, 13 on Plate IV). Due to the small value of the constant  $\alpha$  appearing in (122), the frequency differences between the components of a given line are so small that it must be expected that in general they cannot be separated entirely by the instrument used for the observations. It is easily seen, however, that this will hold to a less degree for the helium lines ( $N=2$ ) than for the hydrogen lines ( $N=1$ ), because, due to the factor  $N^4$  in (120)

<sup>1)</sup> The factor  $\frac{M}{M+m}$ , which is of importance if the theory is compared with measurements of the absolute values of the frequencies of the fine structure components, does not appear in (118), because in the calculations of § 2 the mass of the nucleus was considered as infinite compared with that of the electron (compare § 5, page 40).



and the factor  $N^1$  in (122), the distances between the components will for a given helium line be much larger than for a hydrogen line in the same part of the spectrum. In conformity with this, it has for the lines of the Balmer series in hydrogen been possible only to establish the existence of narrow doublets, the members of which must be expected each to correspond to several components of the theoretical fine structure, while for some of the helium lines, especially for the lines  $(4 \rightarrow 3)$  and  $(5 \rightarrow 3)$ , PASCHEN has been able to detect a considerable number of components. For these lines PASCHEN was able to identify in detail all components found by him with components or groups of components to be expected on SOMMERFELD's theory and the experimental value for the constant  $\alpha$ , which may be found from the observed frequency differences of the components, was in good agreement with the theoretical value  $\left(\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc} = 7.30 \cdot 10^{-3}\right)$ . Moreover the absolute values of the frequencies gave, when the calculations were based on the complete expression (119) for  $\nu$ , values for the constant  $K$  which, within the limit of experimental errors, were the same for each of the different hydrogen lines ( $K = c. 109677.7$ ) as well as for each of the different helium lines ( $K = c. 109722.1$ ), while the ratio between these two constants was in agreement with the theoretical value  $\frac{1 + m/M_H}{1 + m/M_{He}}$ .<sup>1)</sup>

While SOMMERFELD's theory thus afforded a convincing interpretation as regards the frequencies of the fine structure components, it was, however, in the simple form in which it was given unable to account for the intensities with which these components appeared. Especially it seemed difficult to explain the remarkable differences shown by the spectrograms of the fine structure of one and the same line which were made under different experimental conditions. Thus, in the case of the fine structure of the helium line 4686 Å, the intensity distribution for the different components on PASCHEN's photographs showed pronounced differences if a steady voltage had been applied to the vacuum tube containing the gas ("Gleichstrombild") or if the tube had been exposed to an interrupted spark discharge ("Funkenbild"). In a recent paper SOMMERFELD<sup>2)</sup> has made an attempt to explain the intensities of the fine structure components by comparing the intensity of every component with the product of the a-priori probabilities of the initial state and of the final state of the corresponding transition, obtaining in this way what he called a "typical intensity distribution", and by discussing the possible modifications in this distribution which the experimental conditions might produce. By such considerations, however, it was not found possible to obtain a satisfactory agreement with the observations, and SOMMERFELD was led to the conclusion that the intensities cannot be explained "statistically" but claimed an explanation which takes into account the mechanism of the transition process and which therefore might be called "dynamical". From the point of view of BOHR's theory this conclusion is evident; in the limit of large  $n$ 's, for instance, the intensities can according to this theory directly be obtained from

<sup>1)</sup> F. PASCHEN, loc. cit. p. 935.

<sup>2)</sup> A. SOMMERFELD, Ber. Akad. München, p. 83, 1917.

the properties of the motion of the electron in the atom, but can obviously not be found from an examination of the a-priori probabilities of the stationary states, although of course these quantities must be taken into account in the detailed discussion of the intensities.

*1. The relative intensities of the components of the fine structure of the lines of the spectrum of the undisturbed hydrogen atom.*

In order to discuss the interpretation of the observed intensities which can be obtained from the considerations in § 5, let us first suppose that the hydrogen atom is entirely uninfluenced by external forces. In that case the motion of the electron will take place in a plane; moreover the position of this plane would remain unaltered if the electron emitted radiation according to the laws of ordinary electrodynamics. From the formal connection with ordinary electrodynamics in the limit of large  $n$ 's we must therefore expect that also on the quantum theory the plane of the motion remains unaltered during a transition between two stationary states and that the emitted radiation is polarised in this plane. On the other hand the total radiation emitted by a large number of atoms will show no characteristic polarisation, since the position in space of the plane of the orbit in the stationary states is undetermined. Further we have seen in § 2 (compare the formulae (37) and (38)) that the motion of the electron may be considered as a superposition of a number of circular harmonic vibrations of frequencies  $\tau_1\omega_1 + \omega_2$ , where  $\omega_1$  and  $\omega_2$  are the frequency of the radial motion and the mean frequency of the angular motion respectively, while  $\tau_1$  is an integer which may assume all positive and negative values including zero. According to the considerations in § 5 it is therefore necessary to assume that only such transitions between stationary states will be possible for which  $n_2$  decreases or increases by 1, i. e. for which the angular momentum of the electron round the nucleus decreases or increases by  $\hbar/2\pi$ , and that the emitted radiation will be circularly polarised in a direction which is the same as or the opposite of that of the direction of revolution of the electron in its orbit respectively.<sup>1)</sup> It is thus seen that a large number of the ensemble of the  $n' \times n''$  imaginable components of the fine structure of a line ( $n' \rightarrow n''$ ) will correspond to transitions which must be regarded as physically impossible, the a-priori probability for their spontaneous occurrence being equal to zero, and that we may only expect the appearance of  $2n'' - 1$  components,  $n''$  of which correspond to  $n'_2 - n''_2 = 1$  and  $n'' - 1$  of which to  $n'_2 - n''_2 = -1$ .

In order to discuss the intensities with which, according to Bohr's theory, these components may be expected to appear, it will first of all be necessary to discuss the modifications which on account of the degenerate character of the system in question must be introduced in the considerations of § 5 in order that they may be applied in the present case. As a consequence of the degeneration the

<sup>1)</sup> Compare BOHR, loc. cit. Part II, p. 68.

a-priori probabilities of the different stationary states are not equal to each other but they are, in the case under consideration, proportional to the values of  $n_2$ <sup>1)</sup>. Hence if we consider the ensemble of stationary states for which the value of  $n = n_1 + n_2$  is the same, the numbers of atoms in the luminescent vacuum tube present in these states may be expected to be approximately proportional to the values of  $n_2$  in these states. From this it follows that the intensities with which on ordinary electrodynamics the different radiations of frequencies  $\tau_1\omega_1 + \omega_2$ , where  $\tau_1 + 1$  has a given entire value, would be emitted from the atoms in states corresponding to a given value of  $n$  are not simply proportional to the squares of the amplitudes of the vibrations of these frequencies in these states, but proportional to these squares multiplied by  $n_2$ . From the formal connection between the quantum theory and the ordinary electrodynamical theory of radiation we are therefore, in analogy with the considerations in § 5, led to expect that, as a first approximation, an estimate for the relative intensities of the fine structure components ( $n_1, n_2 \rightarrow n'_1, n'_2$ ) of a given line may be obtained by comparing the intensity of each component with the quantities  $n_2 R'^2$  and  $n'_2 R''^2$ , where  $R'$  and  $R''$  represent, just as in § 6, the relative amplitudes of the circular harmonic vibrations of frequency  $(n_1 - n'_1)\omega_1 + (n'_2 - n_2)\omega_2$  occurring in the motions in the initial and final states, i. e. the ratios between these amplitudes and the half major axes of the orbit.

In the tables IX and X we have given schemes for the theoretical estimate of the intensities of the fine structure components of a number of spectral lines. Tabel IX refers to the lines  $(3 \rightarrow 2)$ ,  $(4 \rightarrow 2)$  and  $(5 \rightarrow 2)$ , which correspond to  $H_\alpha$  (6563 Å),  $H_\beta$  (4861 Å) and  $H_\gamma$  (4340 Å) in the hydrogen spectrum; Table X refers to the lines  $(4 \rightarrow 3)$ ,  $(5 \rightarrow 3)$ ,  $(6 \rightarrow 4)$  and  $(7 \rightarrow 4)$ , corresponding to 4686 Å, 3203 Å, 6560 Å and 5411 Å in the helium spectrum.

The *first* column contains the transitions giving rise to the different components, characterised by their symbol  $(n'_1, n'_2 \rightarrow n''_1, n''_2)$ .

The *second* and *third* columns contain the values of  $\tau_1 = n'_1 - n''_1$  and  $\tau_2 = n'_2 - n''_2$ . For each line the components corresponding to  $\tau_2 = +1$  and  $\tau_2 = -1$  are separated by a dotted line.

The *fourth* and *fifth* columns contain the values of  $R'$  and  $R''$  which may be found from (37) by introducing (117), and which accordingly have been calculated by means of the formula

$$R(\tau - 1\omega_1 + \omega_2) = \frac{1}{2\tau} \{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \}, \quad (123)$$

where

$$\varepsilon' = \frac{n_2}{n_1 - n_2}, \quad \varepsilon = \frac{n_2}{n}, \quad \tau = \frac{1}{2} (1 + \varepsilon'^2), \quad \tau = \tau_1 + 1.$$

In order to apply (123) in case of transitions for which  $\tau_2$  is equal to  $-1$  we must obviously introduce for  $\tau$  the negative value  $\tau = -(n' - n'')$ .

<sup>1)</sup> Bohr, loc. cit. Part I, p. 27.

Table IX.

| Transition          | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $R$   | $R'$  | $n_2 R^2$ | $n_2' R'^2$ | Wave length |                     |
|---------------------|----------|----------|-------|-------|-----------|-------------|-------------|---------------------|
| 03 $\rightarrow$ 02 | 0        | 1        | 1,00  | 1,00  | 3,00      | 2,00        | 6562,84 Å   | $H_{\alpha}$        |
| 12 $\rightarrow$ 11 | 0        | 1        | 0,71  | 0,59  | 1,01      | 0,35        | 2,72        | 6563 Å              |
| 21 $\rightarrow$ 02 | 2        | -1       | 0,19  | 0     | 0,04      | 0           | 2,89        | (3 $\rightarrow$ 2) |
| 13 $\rightarrow$ 02 | 1        | 1        | 0,228 | 0     | 0,156     | 0           | 4851,36 Å   | $H_{\beta}$         |
| 22 $\rightarrow$ 11 | 1        | 1        | 0,106 | 0,206 | 0,085     | 0,042       | 1,27        | 4861 Å              |
| 31 $\rightarrow$ 02 | 3        | -1       | 0,057 | 0     | 0,003     | 0           | 1,37        | (4 $\rightarrow$ 2) |
| 23 $\rightarrow$ 02 | 2        | 1        | 0,106 | 0     | 0,034     | 0           | 4340,49 Å   | $H_{\gamma}$        |
| 32 $\rightarrow$ 11 | 2        | 1        | 0,101 | 0,108 | 0,020     | 0,012       | 0,42        | 4340 Å              |
| 41 $\rightarrow$ 02 | 4        | -1       | 0,038 | 0     | 0,001     | 0           | 0,50        | (5 $\rightarrow$ 2) |

Table X.

| Transition          | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $R$   | $R'$  | $n_2 R^2$ | $n_2' R'^2$ | Wave length |   |
|---------------------|----------|----------|-------|-------|-----------|-------------|-------------|---|
| 04 $\rightarrow$ 03 | 0        | 1        | 1,00  | 1,00  | 4,00      | 3,00        | 4585,81     | Helium<br>4686 Å<br>(4 $\rightarrow$ 3) |
| 13 $\rightarrow$ 12 | 0        | 1        | 0,775 | 0,71  | 1,80      | 1,01        | 5,71        |   |
| 22 $\rightarrow$ 21 | 0        | 1        | 0,59  | 0,49  | 0,71      | 0,24        | 5,38        |   |
| 22 $\rightarrow$ 03 | 2        | -1       | 0,14  | 0     | 0,04      | 0           | 5,89        |   |
| 31 $\rightarrow$ 12 | 2        | -1       | 0,22  | 0,09  | 0,05      | 0,02        | 5,92        |   |
| 14 $\rightarrow$ 03 | 1        | 1        | 0,222 | 0     | 0,198     | 0           | 3203,17     | Helium<br>3203 Å<br>(5 $\rightarrow$ 3) |
| 23 $\rightarrow$ 12 | 1        | 1        | 0,221 | 0,227 | 0,146     | 0,103       | 3,12        |   |
| 32 $\rightarrow$ 21 | 1        | 1        | 0,188 | 0,175 | 0,071     | 0,031       | 2,95        |   |
| 32 $\rightarrow$ 03 | 3        | -1       | 0,051 | 0     | 0,005     | 0           | 3,19        |   |
| 41 $\rightarrow$ 12 | 3        | -1       | 0,081 | 0,021 | 0,006     | 0,001       | 3,17        |   |
| 15 $\rightarrow$ 04 | 1        | 1        | 0,215 | 0     | 0,231     | 0           | 6560,19     | Helium<br>6560 Å<br>(6 $\rightarrow$ 4) |
| 24 $\rightarrow$ 13 | 1        | 1        | 0,227 | 0,228 | 0,206     | 0,156       | 60,15       |   |
| 33 $\rightarrow$ 22 | 1        | 1        | 0,206 | 0,206 | 0,127     | 0,084       | 60,06       |   |
| 42 $\rightarrow$ 31 | 1        | 1        | 0,175 | 0,173 | 0,061     | 0,030       | 59,78       |   |
| 33 $\rightarrow$ 04 | 3        | -1       | 0,039 | 0     | 0,005     | 0           | 60,21       |   |
| 42 $\rightarrow$ 13 | 3        | -1       | 0,060 | 0,014 | 0,007     | 0,001       | 60,19       |   |
| 51 $\rightarrow$ 22 | 3        | -1       | 0,084 | 0,039 | 0,007     | 0,002       | 60,18       |   |
| 25 $\rightarrow$ 04 | 2        | 1        | 0,105 | 0     | 0,055     | 0           | 5411,60 Å   | Helium<br>5411 Å<br>(7 $\rightarrow$ 4) |
| 34 $\rightarrow$ 13 | 2        | 1        | 0,104 | 0,100 | 0,043     | 0,030       | 1,57        |   |
| 43 $\rightarrow$ 22 | 2        | 1        | 0,103 | 0,108 | 0,032     | 0,023       | 1,50        |   |
| 52 $\rightarrow$ 31 | 2        | 1        | 0,089 | 0,086 | 0,016     | 0,007       | 1,30        |   |
| 43 $\rightarrow$ 04 | 4        | -1       | 0,027 | 0     | 0,002     | 0           | 1,61        |   |
| 52 $\rightarrow$ 13 | 4        | -1       | 0,035 | 0,005 | 0,002     | 0,000       | 1,59        |   |
| 61 $\rightarrow$ 22 | 4        | -1       | 0,044 | 0,025 | 0,002     | 0,007       | 1,55        |   |

The *sixth* and *seventh* columns contain the values of  $n'_2 R'^2$  and  $n''_2 R''^2$ , which may be expected to afford an estimate for the intensities.

The *eighth* column contains the theoretical values for the wave lengths of the components calculated by means of the formulae (119), (120), (121), (122) and are taken from PASCHEN's paper.

When discussing the estimate afforded by the preceding tables, it will first of all be remarked that the values of  $n'_2 R'^2$  and  $n''_2 R''^2$  for transitions for which  $n_2$  decreases by 1 are much larger than for transitions for which  $n_2$  increases by 1, so that the components corresponding to the former transitions must be expected to be much stronger than those corresponding to the latter. (In § 6 we have already met with the analogous circumstance in the Stark effect, where components for which one of the  $\tau$ 's is negative are much weaker than the other components, and the connection was pointed out with SOMMERFELD's suggestion that no transitions would be possible for which one or more of the  $n$ 's increase. See page 58). It must therefore be expected that in general the fine structure of a line ( $n' \rightarrow n''$ ) will consist of  $n''$  strong components, corresponding to the transitions

$$\begin{aligned} (n' - n'' - 1, n'' + 1 &\rightarrow 0, n'') \\ (n' - n'', n'' &\rightarrow 1, n'' - 1) \\ \vdots &\vdots \\ (n' - 2, 2 &\rightarrow n'' - 1, 1), \end{aligned}$$

and of  $n'' - 1$  weak components, corresponding to the transitions

$$\begin{aligned} (n' - n'' + 1, n'' - 1 &\rightarrow 0, n'') \\ (n' - n'' + 2, n'' - 2 &\rightarrow 1, n'' - 1) \\ \vdots &\vdots \\ (n' - 1, 1 &\rightarrow n'' - 2, 2). \end{aligned}$$

Moreover the values of  $n'_2 R'^2$  and  $n''_2 R''^2$  in the tables indicate that the values of the intensities of the strong components, to begin with the second, will form a series of decreasing numbers. As to the intensity of the first component we must distinguish between two cases, *viz.*  $n' - n'' = 1$  and  $n' - n'' > 1$ . In the first case we have to do with a transition between two circular orbits for which  $n'_1 R'^2$  and  $n''_1 R''^2$  become equal to  $n'_2$  and  $n''_2$  respectively, and we should expect that the corresponding component would be the strongest of the fine structure under consideration. In the second case the orbit of the electron is circular only in the final state, and  $R''$  becomes equal to zero, so that the intensity of the first component in this case must be expected to be less than that of the second. At the same time, however, we should anticipate, from analogy with what has been observed in the discussion of the Stark effect in the case of transitions in which circular orbits of the electron are implied, that such conclusions about the intensity of the first component in question will bear a more or less exaggerated character.



All this is in general agreement with the observations as it will be seen from a detailed discussion of the fine structures observed. Before entering on such a discussion, however, it will be necessary to consider in a certain detail the influence which small perturbing electric forces will have on the fine structure of the hydrogen lines and helium lines under consideration. That such an influence must beforehand be expected to be very considerable may for instance be seen from the circumstance that rather small electric fields will be sufficient to disturb entirely the character of the fine structure and to give rise to a regular Stark effect. Thus, in the case of  $H_{\beta}$ , an electric field of 1000 Volt<sub>cm</sub> would already give rise to a Stark effect for which the distance of the outer parallel components is equal to nearly two times the width of the original fine structure doublet of  $H_{\beta}$ . From a mechanical point of view the easiness with which a fine structure is disturbed by a small external electric force is interpreted by observing that the deviation of the orbit of the electron from a purely periodic orbit due to the influence of the relativity modifications is extremely small, so that already a comparatively small electric force will produce alterations in the orbit which are of the same order of magnitude. As it will appear in the following sections a discussion of the effect of a weak electric field is of essential importance in order to obtain a theoretical understanding of the typical manner in which, on many of PASCHEN's spectrograms, the intensity distribution of the different components deviates from the simple intensity distribution to be expected from the preceding considerations in this section.

## *II. Effect of a weak electric field on the fine structure of the hydrogen lines.*

A general discussion of the effect which an electric field must be expected to have on the fine structure of a hydrogen line when its intensity increases from zero, so that the fine structure is gradually transmuted into an ordinary Stark effect in which the relativity modifications play only a secondary part, will, as mentioned in the beginning of § 4, be given in a later paper. Here we will only discuss the effect of an electric field, the intensity of which is so small that its influence is still small compared to that of the relativity modifications.

The character of the influence of a small external constant field of force on the spectrum of an atomic system has been treated by BOHR in the first and in the second Part of his often mentioned paper. As regards the frequencies of the spectral lines this effect may be directly found by means of (1) as soon as it is possible to fix the energy in the stationary states of the perturbed system. This constitutes a problem which in general may be solved if the deviations of the mechanical motion of the perturbed system from the motion in the undisturbed system are at any moment very small, and for its treatment the fundamental principle of the mechanical transformability of the stationary states, which has been introduced in the

quantum theory by EHRENFEST<sup>1)</sup>, plays an important part. From BOHR's paper it will, however, be seen that if the undisturbed system is degenerate, *i. e.* if the number of degrees of freedom is larger than the number of the conditions which fix the stationary states of the undisturbed system, complications present themselves owing to the circumstance that in such a case the stationary states of the perturbed system in general will be fixed by a larger number of conditions. In such a case a closer examination of the motion of the perturbed system, and especially a consideration of the small new frequencies, impressed on the motion of the system by the perturbing forces, is necessary in order to obtain a fixation of the stationary states. A general exposition of the methods, developed by BOHR, by means of which it is possible to fix the stationary states of a perturbed system, will be given in the later paper referred to above; in the present case, where we consider the influence of a weak homogeneous electric field on the hydrogen atom, which will not essentially disturb the character of the motion of the atom, we shall only mention the points which have direct connection with this problem, without entering more closely on a theoretical discussion.

The properties of the mechanical motion of the electron in a hydrogen atom which is exposed to a small electric field of force have been investigated in detail in § 4. From the calculations in this section it is seen that the character of this motion, with neglect of small quantities proportional to the square of the intensity of the perturbing force, may be considered as characterised by three quantities  $I_1$ ,  $I_2^0$  and  $I_3^0$ . If the intensity of the perturbing force is zero ( $F=0$ ),  $I_1^0$  and  $I_2^0 + I_3^0$  coincide with the quantities  $I_1$  and  $I_2$  respectively, which in the notation of § 2 characterise the motion of the electron in the undisturbed atom. The quantity  $I_3^0$  represents  $2\pi$  times the angular momentum of the electron round an axis through the nucleus parallel to the electric force. While the stationary states of the undisturbed atom, which forms a degenerate system, are fixed by the two conditions (117), the stationary states of the perturbed system will, disregarding small quantities proportional to  $F^2$ , be characterised by the following three conditions:

$$I_1^0 = n_1 h, \quad I_2^0 = (n_2 - n) h, \quad I_3^0 = n h, \quad (124)$$

where  $n_1$ ,  $n_2$  and  $n$  are positive integers of which  $n_2 \geq n$ . A state of the perturbed system satisfying these conditions for given values of  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n$  will in the following be characterised by the symbol  $(n_1, n_2; n)$ . Comparing with the formulae in § 4, it is seen from (124) that the motion in a stationary state of the perturbed system will, at any moment, only differ by small quantities proportional to the intensity  $F$  of the perturbing force from a stationary motion of the undisturbed system, which besides satisfying the conditions (117) satisfies the additional condition that the angular momentum of the electron round the axis is equal to an entire multiple of  $h/2\pi$ . It will be seen that the latter condition fixes the position of the plane in which the electron moves, which was naturally left undetermined

<sup>1)</sup> See BOHR, *loc. cit.* Part I, p. 8.

by the conditions (117), and that the sine of the angle which this plane makes with the axis will be equal to  $\frac{n_1}{n_2}$ .<sup>1)</sup> The different possible stationary states of the perturbed system are a-priori equally probable and are obtained by letting  $n_1$  assume the values 0, 1, 2, ...,  $n_2$  the values 1, 2, 3, ... and  $n$  the values 1, 2, ...,  $n_2$ . That no stationary states exist in which  $n_2$  would be equal to zero follows, as mentioned on page 68, from the fact that the motion in these states would not be physically realisable since the electron would collide with the nucleus. In states for which  $n_2$  would be different from zero, but in which  $n$  would be equal to zero, the mechanical motion of the electron would not show singularities, but as pointed out in Born's paper it is possible to conclude, from the principle of the invariance of the a-priori probability of the stationary states for continuous transformations, that these states cannot represent stationary states since it would be possible to transform them continuously into physically unrealisable states.<sup>2)</sup>

From the calculations in § 4 it follows that, with neglect of small quantities proportional to the square and higher powers of  $F$ , the total energy of the perturbed system may be expressed in terms of  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  by the same function as that by which in (76) the quantity  $\alpha_1$  is expressed in terms of  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  (compare page 31). Introducing (124) it will therefore be seen that the total energy of the stationary states of the perturbed system with this approximation will depend on  $n_1$  and  $n_2$  only, and will be given by the same formula as that holding for the energy in the stationary states of the undisturbed system, which was given by (118).<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> In Born's paper (Part I, page 35; Part II, page 55) it has been mentioned that quite generally we must expect that one of the conditions which fix the stationary states of an atomic system which possesses a fixed axis of symmetry will claim that the total angular momentum of the system round this axis is equal to an entire multiple of  $\hbar/2\pi$ . Starting from this result it may directly be proved that the conditions (124) are in concordance with the principle of the mechanical transformability of the stationary states. In fact, it can be proved that during a slow increase of the intensity of the electric field the mean values of the quantities  $I_1$ ,  $I_2$  and  $I_3$ , taken over the motion of the perturbed system, with neglect of small quantities proportional to  $F^2$  will remain the same. Since now, according to the calculations in § 4 (see page 30), the quantities  $I_1^0$ ,  $I_2^0$  and  $I_3^0$  appearing in the conditions (124) just represent the mean values of  $I_1$ ,  $I_2$  and  $I_3$ , it will therefore be seen that, if we start from a stationary motion of the undisturbed atom which satisfies the additional condition of the angular momentum, the atom will during a slow establishment of the perturbing electric field pass mechanically into a state which satisfies the conditions (124).

<sup>2)</sup> If, for instance, we imagine that the intensity of the electric force increases to values which are so large that the relativity modifications may be neglected we would obtain the system considered in § 3 and § 6, and the states in question would be continuously transformed into the corresponding states of the latter system, the motion in which, as mentioned on page 50, involves an essential singularity. Compare Born, loc. cit. Part II, page 56.

<sup>3)</sup> The fact that in the present case the alteration in the total energy of the system due to the presence of the external forces, i. e. what Born calls the "additional energy" of the perturbed system, is equal to zero as far as small quantities proportional to  $F$  are concerned may be directly deduced from a general theorem which states that if a conditionally periodic system is perturbed by a constant small external field of force the value of the additional energy in the stationary states of the perturbed system is, with neglect of small quantities proportional to the square of the external forces, simply equal to

With reference to the general relation which, according to BOHR, must be expected to exist between the additional energy of a degenerate system due to the presence of small external forces and the small frequency (or frequencies) impres-

the mean value of the potential energy of the system with regard to these forces, taken over a long time interval for the "corresponding" stationary motion of the undisturbed system, i. e. the motion in the state which would appear if the perturbing field decreased to zero infinitely slowly and at a uniform rate. This theorem follows directly from the principle of the mechanical transformability of the stationary states, since it may be shown that during such a slow change of the perturbing field the external forces will, with this approximation, not perform work on the particles of the system (compare BOHR, loc. cit. Part II). In order to apply the theorem in the present case we have to calculate the mean value of the potential energy of the electron with respect to a homogeneous electric field of force, taken over the motion which this electron performs in the stationary states of the undisturbed hydrogen atom, but owing to the symmetry of the latter motion round the nucleus this mean value is always equal to zero. In fact, with the notation of § 4, the perturbing potential is equal to  $Fz$ , and from (90) it is seen that the trigonometric series representing  $z$  as a function of the time for the undisturbed system does not contain a constant term, so that the mean value of  $z$  is equal to zero. (Compare also J. M. BURGERS, *Het atoommodel van Rutherford-Bohr*, Haarlem 1918, p. 128.)

In the later paper, referred to above, which deals with the transmutation of the fine structure into the Stark effect, it will be proved that, for small values of the intensity of the electric field, the additional energy in the stationary states may be represented by a series of terms of the form  $F[a_0 + a_2(\frac{F}{F_0})^2 + \dots]$ , if we disregard small terms the ratio of which to one of these terms is of the order  $F, F^2, \dots$  or  $0, 0^2, \dots$ . The largest term in the expression for the additional energy is thus seen to be a small quantity of the order  $\frac{F^2}{F_0}$ , and it is of interest that this term may be calculated already from the formulæ deduced in § 4. Thus it is seen from (94) that the mean position of the electron taken over a large time interval, which for the undisturbed orbit coincided with the nucleus, under the influence of the electric field is displaced in the direction of the positive  $z$ -axis by an amount equal to  $\frac{3eFz^2I^3}{40\varepsilon'} \cdot \frac{3(-\varepsilon^2 + \varepsilon'^2\mu^2)}{\varepsilon'} = sF$ . If we now imagine that the electric force increases slowly and uniformly from zero, it will be seen that the work performed by the external force on the atom during this process will be equal to  $-\int eFd(sF) = -\frac{1}{2}seF^2$ . Since further the mean value of the potential energy of the perturbed atom with respect to the electric field is equal to  $sF \cdot eF = seF^2$ , it is seen, with reference to the principle of the mechanical transformability of the stationary states, that we may conclude that the additional energy in the stationary states of the system under consideration will be given by  $seF^2 - \frac{1}{2}seF^2 = \frac{1}{2}seF^2$ . Introducing  $I^0 = nh$ ,  $\varepsilon' = n_2/n$ ,  $\mu' = n/n_2$ ,  $0 = \frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{h^3} \left( \frac{2\pi Ne^2}{hc} \right)^2 \frac{1}{n^2 n^2}$  (compare formula (86)), and denoting the additional energy by  $\Delta E$ , we have thus

$$\Delta E = -\frac{9}{4} \left( \frac{h}{2\pi} \right)^8 \frac{e^2 F^2}{N^0 e^{10} m^3} n^5 n_2 (n^2 - 2n_2^2 + n_2^2).$$

This formula allows in first approximation to calculate the displacements of the components of the fine structure under the influence of an external electric field. In fact, the presence of the perturbing forces will cause that the frequency of the radiation corresponding to a transition  $(n'_1, n'_2; n''_1, n''_2)$ , which gives rise to one of the components into which the fine structure component  $(n'_1, n'_2 \rightarrow n''_1, n''_2)$  is split up, will differ from the value of  $\nu$  given by (119) by an amount

$$\Delta \nu = \frac{\Delta E' - \Delta E''}{h} = -\frac{9}{4} \left( \frac{h}{2\pi} \right)^8 \frac{e^2 F^2}{N^0 e^{10} m^3} [n'^5 n'_2 (n'^2 - 2n'^2_2 + n'^2_2) - n''^5 n''_2 (n''^2 - 2n''^2_2 + n''^2_2)].$$

For the sake of orientation it may be of interest here to note that for increasing intensity of the electric field a state of the system, for which  $I_1^0 = n_1 h$ ,  $I_2^0 = (n_2 - n) h$ ,  $I_3^0 = n h$ , will be continuously

sed by the perturbing forces on the motion of the originally degenerate system, it will be seen that the circumstance, that in the present case the energy in the stationary states of the perturbed system to the first approximation does not depend on the value of the integer  $n$  appearing in the third of the conditions (124), is intimately connected with the fact that the two fundamental frequencies  $\omega_2$  and  $\omega_3$ , which together with  $\omega_1$  characterise the motion of the perturbed system, do not differ from each other as far as small quantities proportional to  $F$  are concerned (see § 4, page 33)<sup>1)</sup>.

With reference to (1) it will be seen from the above that the effect of the external electric field on the spectrum of the hydrogen atom consists, as regards the frequencies, in the splitting up of every fine structure component in a number of components, because to every stationary state  $(n_1, n_2)$  of the undisturbed atom there corresponds a number of stationary states  $(n_1, n_2, m)$  of the

transformed into one among the stationary states involved in the theory of the Stark effect, for which, with the notation of § 3,  $I_3 (= 2\pi \times \text{angular momentum of the electron round the axis of the field})$  has the same value as  $I_3^0$ , but for which  $I_1 = I_2^0$  and  $I_2 = I_1^0$ .

<sup>1)</sup> From the formulæ (90) and (41) it will, with reference to the considerations on page 15 and 16, be seen that  $\omega_3 - \omega_2$  represents the frequency with which the plane of the orbit of the electron under the influence of the electric field rotates uniformly round the  $z$ -axis. As it will be proved in the paper referred to above, this frequency may, just as the additional energy, be represented by a series of the form  $F \left[ b_1 \frac{F}{0} + b_2 \left( \frac{F}{0} \right)^2 + \dots \right]$ ; the first term of this series may again be found already from the

calculations in § 4, by means of a consideration of conservation of angular momentum analogous to that applied by BOHR in his discussion of the Stark effect (loc. cit. Part II, p. 72). In fact, a rotation of the plane of the orbit will imply a change of the angular momentum of the electron round the nucleus, considered as a vector, the mean value of which, taken over a time interval large compared with  $\frac{1}{0}$  but small compared with  $\frac{1}{\omega_3 - \omega_2}$ , will have a direction perpendicular to the  $z$ -axis and, with the

notation of § 4, be equal to  $\mu \frac{I_2^0 + I_3^0}{2\pi} \times 2\pi(\omega_3 - \omega_2)$ , where the first factor represents the component of

the angular momentum of the electron perpendicular to the direction of the field. This mean change in angular momentum, however, is directly seen to originate from the fact that the mean position of the electron, taken over a time interval of the order mentioned, will not be placed on the  $z$ -axis but will, as seen from formula (96), be displaced from this axis by an amount  $\frac{3eFz^2I_0^3}{40} \cdot 3\mu \mu' z'$  in a direction

perpendicular to the direction of the mean change of the angular momentum. Equalizing the mean value of the change of angular momentum due to the action of the external force with the amount arising from the rotation of the plane we consequently get

$$-eF \times \frac{3eFz^2I_0^3}{40} \cdot 3\mu \mu' z' = \mu \frac{I_2^0 + I_3^0}{2\pi} \times 2\pi(\omega_3 - \omega_2),$$

which gives

$$\omega_3 - \omega_2 = -\frac{9}{4} \frac{e^2 F^2 z^2 I_0^3}{0} \cdot \frac{\mu' z'}{I_2^0 + I_3^0} = -\frac{9}{2} \frac{e^2 F^2}{2\pi \cdot 18 N^6 e^{10} m^3} I_0^3 (I_2^0 + I_3^0) I_1^0,$$

which, as it was to be expected, is seen to be a small quantity of the same order as the small frequency differences between the components into which each fine structure component is split up under the influence of the external field and which can be directly found from the formula for  $\Delta \nu$  deduced in the above note.



perturbed atom, corresponding to the different possible values of  $n$  ( $n = 1, 2, \dots, n_2$ ), but the displacements of these components from their original positions will only be small quantities proportional to the square of the electric field (the displacements being represented by small terms containing the factor  $F^2/0$ . Compare note 3 on page 77).

Let us now proceed to discuss the influence of the electric field on the intensities of the fine structure components. On BOHR's theory this influence may be discussed by considering the amplitudes of the harmonic vibrations in which the motion of the electron in the perturbed system may be resolved. Now for the undisturbed hydrogen atom there appear in the motion, as mentioned above, only vibrations of frequencies  $a\omega_1 \pm \omega_2$ , where  $a$  is a positive integer, and from this the conclusion was drawn that only such transitions were possible for which  $n'_2 - n''_2$  was equal to  $\pm 1$ , i. e. for which the angular momentum of the electron round the nucleus decreased or increased by  $\hbar/2\pi$ . In the motion of the perturbed system, however, there appear vibrations of frequencies which did not appear in the original motion. Thus, identifying for the moment  $\omega_2$  and  $\omega_3$ , we see from the calculations in § 4 that there will occur vibrations in the motion of the perturbed system the amplitudes of which are small quantities proportional to  $F/0$ , and the frequencies of which are equal to  $a\omega_1$  and  $a\omega_1 \pm 2\omega_2$ , where  $a$  is an integer. On the other hand the amplitudes of the vibrations of the original frequencies which appeared already in the motion of the undisturbed atom are, as far as small quantities of this order are concerned, not influenced by the perturbing field. From these facts we may, with reference to the formal connection between the quantum theory and the ordinary theory of radiation, directly conclude that under the influence of the electric field there will appear new components in the fine structure of the hydrogen lines corresponding to transitions between an initial state ( $n'_1, n'_2$ ) and a final state ( $n''_1, n''_2$ ) for which  $n'_2 - n''_2 = 0$  or  $n'_2 - n''_2 = \pm 2$ , i. e. for which the angular momentum of the electron round the nucleus remains unchanged, or decreases or increases by  $2 \cdot \hbar/2\pi$  (compare BOHR, loc. cit. Part II, p. 69). The intensities with which these new components appear will be of the same order as the square of the amplitudes of the vibrations corresponding to the new frequencies  $a\omega_1$  and  $a\omega_1 \pm 2\omega_2$ , i. e. they will be represented by small quantities proportional to  $(F/0)^2$ .

We may summarise the results of the preceding discussion by saying that the presence of a small homogeneous electric field of force in first approximation will leave the frequencies and relative intensities of the original fine structure components of the hydrogen lines unaltered, but will give rise to the appearance of new components, the frequencies of which are equal to the sum or to the difference of two of the original components. This affords a general interpretation of the fact mentioned above that the appearance and intensity of the fine structure components appearing on PASCHEN's photographs seem to depend on the experimental conditions

under which the spectrum was produced. In fact, we must naturally expect that in the vacuum tube containing the luminous gas there will always be electric fields acting on the atoms, but under different experimental conditions these fields will not be equally strong, and especially in the case where an interrupted spark discharge is applied, the intensity of such fields may become considerable.

In order to discuss in detail the intensities with which for a given value of  $F$  the new components may be expected to appear it will first of all be necessary to consider in detail the different transitions between stationary states giving rise to these components. The motion of the system in a stationary state  $(n_1, n_2; n)$  will be given by the formulae (83), (90), (94) and (96) in § 4, if we introduce for  $I_1^0, I_2^0, I_3^0$  and  $I^0$  in these formulae their values  $n_1, n_2 - n, n$  and  $n = n_1 + n_2$  respectively. A transition between an initial state  $(n'_1, n'_2; n')$  and a final state  $(n''_1, n''_2; n'')$  will be characterised by the symbol  $(n'_1, n'_2; n' \rightarrow n''_1, n''_2; n'')$ . If  $\omega_1, \omega_2$  and  $\omega_3$  have the same signification as in § 4 it may be shown by a closer examination of the perturbed system, as that which will be given in the later paper mentioned above, that the general relation discussed in § 5 between the frequencies which an atomic system will emit during a transition between two stationary states, and the frequencies occurring in the motion of the system, will in the present case exist therein that the frequency of the radiation emitted during a transition  $(n'_1, n'_2; n' \rightarrow n''_1, n''_2; n'')$  will be equal to the mean value of the frequency  $(n'_1 - n''_1)\omega_1 + (n'_2 - n''_2)\omega_2 + (n' - n'')\omega_3$  occurring in the motion in the states corresponding to  $I_1^0 = n'_1 + \lambda(n'_1 - n''_1)$ ,  $I_2^0 + I_3^0 = n'_2 + \lambda(n'_2 - n''_2)$ ,  $I_3^0 = n' + \lambda(n' - n'')$ , where  $\lambda$  takes all possible values between 0 and 1. Now the motion of the perturbed system may be resolved in a number of linear harmonic vibrations parallel to the electric force, the frequencies of which are of the type  $\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2$ , and in a number of circular harmonic rotations perpendicular to the electric force and of frequencies  $\tau_1\omega_1 + \tau_2\omega_2 + \omega_3$ , as it is seen from (94) and (96). We shall therefore expect that, just as in the theory of the Stark effect, two kinds of transitions will be possible, *viz.* transitions for which  $n' - n'' = 0$  and which give rise to radiations polarised parallel to the electric force, and transitions for which  $n' - n'' = \pm 1$  and which give rise to radiations of circular polarisation perpendicular to the electric force.<sup>1)</sup> Further from (83), (90) and (94) it is seen that the motion of the electron parallel to the electric force consists partly of vibrations of frequencies  $\tau_1\omega_1 + \omega_2$  which also occurred in the undisturbed motion, and the amplitudes of which in first approximation are not affected by the electric force, partly of vibrations of frequencies  $\tau_1\omega_1$  and  $\tau_1\omega_1 + 2\omega_2$  the amplitudes of which are proportional to  $F$ . From this we may conclude that two types

<sup>1)</sup> This conclusion will be seen to be supported by a consideration of conservation of angular momentum round the axis of the field during the transitions, as that mentioned in note 2 on page 45. In this connection it may be of interest to observe that the effect of the external electric field in producing new components has intimate relation to the possibility for these forces to change the total angular momentum of the electron round the nucleus during a transition between two stationary states (compare RUBINOWICZ, l. c.).

of transitions will be possible for which  $n$  remains unaltered, *viz.* transitions for which  $n_2 = n$  and therefore also  $n_2$  changes by one unit, and which give rise to radiations corresponding to the original components of the fine structure; and transitions for which  $n_2 = n$  and therefore also  $n_2$  remains unaltered or changes by two units, giving rise to radiations which correspond to the new components. In the same way it is easily seen from (83), (90) and (96) that also the transitions for which  $n$  changes by one unit may be divided into transitions for which  $n_2$  changes by one unit and which contribute to the original components, and transitions for which  $n_2$  remains unchanged or changes by two units and which contribute to the new components. According to the considerations in § 5 we shall further expect that it will be possible, from the numerical values of the amplitudes of the corresponding harmonic vibrations occurring in the initial states and in the final states, to obtain an estimate for the relative intensities with which for a given hydrogen line ( $n' - n''$ ) all these components will appear. Let us consider the estimate which in this way may be obtained from (94) and (96) for the intensities of the new components assuming that the direction of the perturbing electric field is perpendicular to the direction in which the spectrum is viewed. The radiations giving rise to a new component characterised by  $(n'_1, n'_2 - n''_1, n''_2)$  will originate from different transitions  $(n'_1, n'_2; n' \rightarrow n''_1, n''_2; n'')$  where  $n'_1, n'_2, n''_1, n''_2$  have the same values, but where  $n'$  and  $n''$  may assume different pairs of values. For  $n' - n'' = 0$  these transitions give rise to radiations polarised parallel to the electric force; for  $n' - n'' = \pm 1$  they will give rise to radiations polarised perpendicular to this direction. The new components might therefore in general be expected to show characteristic polarisation if the direction of the electric force was the same at all points in the luminescent vacuum tube which contribute to the formation of the spectroscopical image. In order to obtain an estimate for the intensities of the radiations corresponding to these transitions we shall, in analogy with the procedure followed in § 6, for each transition  $(n'_1, n'_2; n' \rightarrow n''_1, n''_2; n'')$  calculate the square of the relative amplitude of the harmonic vibration of frequency  $(n'_1 - n''_1)\omega_1 + (n'_2 - n''_2 - n'' - n''')\omega_2 + (n'_3 - n''_3)\omega_3$  occurring in the motion in the initial state and in the final state, where just as in the preceding sections under relative amplitudes are understood the actual amplitudes divided by the length of the half major axis of the Keplerian orbit which the electron at any moment may be considered to describe. Now this half major axis is equal to  $xl^{n^2}$  so that from (94) and (96) the values of the relative amplitudes may directly be found. The expressions obtained in this way are all seen to contain the factor  $\frac{3eFxI^0}{40}$ , which by means of (124) and (86) may be written in the form

$$\frac{3eFxI^0}{40} = \frac{3}{2} F \left( \frac{h}{2\pi} \right)^6 \frac{c^2}{e^3 m^2} \cdot \frac{n^4 n_2^2}{N^5} = k F \frac{n^4 n_2^2}{N^5},$$

where  $k$  is a constant the value of which may be simply calculated from the experimental data, owing to the fact that we, with reference to formula (105), can write  $k$  in the form

$$k = \frac{3}{32\pi^2} \frac{c^2}{K^2 e},$$

where  $K$  is RYDBERG'S constant. Taking  $Kc = 1,097 \cdot 10^5$  and using MILLIKAN'S value for  $e$  ( $e = 4,77 \cdot 10^{-10}$ ), we find

$$k = 0,00165. \quad (125)$$

The expressions for the relative amplitudes may now be written in the form

$$R(\tau\omega_1) = \frac{kFn^4 n_2^2}{N^5} \frac{\varepsilon}{\tau \varepsilon'} \left\{ (2 + 5\mu^2 \varepsilon'^2 \tau) J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) + (-2 + 5\mu^2 \varepsilon'^2 \tau) J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\},$$

$$R(\tau-2\omega_1+2\omega_2) = \frac{kFn^4 n_2^2}{N^5} \frac{\mu^2}{2\tau \varepsilon \varepsilon'} \left\{ (1+\varepsilon')(1+\varepsilon')(3\varepsilon'-2) - \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2) J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) + (1-\varepsilon')(1-\varepsilon')(3\varepsilon'+2) - \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2) J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\},$$

$$R(\tau\omega_1-\omega_2+\omega_3) = \frac{kFn^4 n_2^2}{N^5} \frac{\mu\varepsilon}{2\tau} \left\{ (3+5\tau(1+\varepsilon'\mu')) J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) + (3-5\tau(1-\varepsilon'\mu')) J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\},$$

$$R(\tau-2\omega_1+\omega_2+\omega_3) = \frac{kFn^4 n_2^2}{N^5} \frac{\mu(1+\mu')}{4\tau \varepsilon \varepsilon'} \left\{ (1+\varepsilon')((1+\varepsilon')(3\varepsilon'-2) - \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2)) J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) + (1-\varepsilon')((1-\varepsilon')(3\varepsilon'+2) - \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2)) J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\},$$

$$R(\tau+2\omega_1-3\omega_2+\omega_3) = \frac{kFn^4 n_2^2}{N^5} \frac{\mu(1-\mu')}{4\tau \varepsilon \varepsilon'} \left\{ (1-\varepsilon')((1-\varepsilon')(3\varepsilon'+2) - \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2)) J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) + (1+\varepsilon')((1+\varepsilon')(3\varepsilon'-2) + \tau\varepsilon'(5-3\varepsilon'^2)) J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \right\}, \quad (126)$$

where the quantities  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon$ ,  $\mu'$  and  $\mu$  are functions of the  $n$ 's which according to (94) and (124) are expressed by means of the formulae

$$\varepsilon' = \frac{n_2}{n}, \quad \varepsilon = \frac{1}{n} \sqrt{n^2 - n_2^2}, \quad \mu' = \frac{n}{n_2}, \quad \mu = \frac{1}{n} \sqrt{n_2^2 - n}, \quad (n = n_1 + n_2).$$

In case of circular orbits ( $\varepsilon' = 1$ ,  $\varepsilon = 0$ ,  $n_1 = 0$ ) the formulae (126) according to (97) assume the simple form

$$\left. \begin{aligned} R(2\omega_2) &= \frac{kFn^4}{N^5} \mu^2, \\ R(\omega_2 + \omega_3) &= \frac{kFn^6}{N^5} \frac{\mu(1+\mu')}{2}, \\ R(-3\omega_2 + \omega_3) &= \frac{kFn^6}{N^5} \frac{\mu(1+\mu')}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (127)$$

The appearance of the factor  $n^4 n_2^2$  in the formulae indicates that the intensities of the perturbed components will, for the same intensity of the electric field, increase very fast if the quantity  $n$  characterising the initial state increases, so that for instance in the Balmer series the higher members will be much more influenced by an electric field than the first members. Further the appearance of  $N$  in the denominator indicates that for a hydrogen line ( $N=1$ ) the influence of an electric field will again be much stronger than for one of the analogous helium lines  $N=2$  in the same part of the spectrum, in agreement with what might be directly expected from the fact that for the latter lines the frequency differences of the fine structure components are much smaller than for the former lines, while the frequency differences for the components of the Stark effect are larger.

### III. Comparison of the theory with the observations on the fine structure.

We shall now proceed to compare the estimate of the relative intensities, obtainable from the preceding considerations, with PASCHEN's observations. As mentioned at the end of the first section of this chapter it is necessary, in order to account for these observations, to pay attention to the disturbances which the fine structure undergoes as a consequence of the presence of external forces, and we shall therefore in the following discussion from the beginning take the intensities of the "new" components, discussed in the second section, into account. The first problem with which we meet will therefore be to compare these intensities for a given value of the intensity  $F$  of the external electric field with the intensities of the original components. Now the latter intensities were already estimated in the preceding section on the basis of the formulae (123), the numerical results being given in tables IX and X. It is, however, not possible to compare the numbers in these tables directly with the numbers obtained from (126) and (127) because in the formulae (123) are given the relative values of the amplitudes of the circular harmonic rotations which the electron in the undisturbed hydrogen atom performs in the plane of its motion. On the other hand, in order to take into account that the electron moves in space and that the position in space of the plane of its motion is arbitrary, it will obviously be sufficient to multiply the numbers  $n'_2 R'^2$  and  $n''_2 R''^2$  in tables IX and X by the factor  $\frac{2}{3}$ , the numbers thus obtained representing an estimate of the relative intensities of that part of the original components which may be considered as polarised parallel to the direction of the electric force, or that part which is polarised perpendicular to this direction, which two parts are equal on account of the original components being unpolarised. It must, however, be observed that we could also have obtained an estimate for the intensities of the original components by considering the different transitions ( $n'_1, n'_2; n'_1 \rightarrow n''_1, n''_2; n''_1$ ) between stationary states of the perturbed system which contribute to these components, but this would complicate our tables without necessity, and moreover we shall have the opportunity to come back to this other method of estimating the intensities of the original components in § 8, where the influence of a magnetic field on the fine structure of the hydrogen lines will be discussed.

In the tables XI, XII and XIII we have given a scheme of the estimate which according to the preceding considerations can be obtained for the intensities of the new and of the original components in case of the fine structure of the helium lines 4686 Å ( $4 \rightarrow 3$ ) and 3203 Å ( $5 \rightarrow 3$ ) ( $N = 2$ ) and of the hydrogen line  $H\alpha$ , 6563 Å, ( $3 \rightarrow 2$ ) ( $N = 1$ ). In the calculation of the tables we have taken  $F = 1$  i. e. the intensities of the new components refer to an intensity of the perturbing electric field of 300 Volt/cm.

The *first* column contains the symbols ( $n'_1, n'_2 \rightarrow n''_1, n''_2$ ) characterising the transitions between two stationary states of the hydrogen atom to which the new and the original components correspond.



The *second* column contains the symbols ( $n'_1, n'_2; n'' \rightarrow n'_1, n'_2; n''$ ) characterising the transitions between two stationary states of the perturbed system which contribute to the new components. For each component the transitions which give rise to radiation polarised parallel to the direction of the electric force and those giving rise to radiation polarised perpendicular to this direction are collected in brackets and indicated by Par. and Perp. respectively. According to what has been said on page 77, only such states are taken into account for which  $n$  is different from zero.

The *third* and *fourth* columns contain the values of the squares of the relative amplitudes of the vibrations of frequencies  $(n'_1 - n'_2)\omega_1 + (n'_2 - n' - n'_2 - n'')\omega_2 + (n' - n'')\omega_3$  in the initial states and final states respectively, calculated by means of (125), (126) and (127). For the original components these columns contain the values of the squares of the quantities  $R'$  and  $R''$  appearing in tables IX and X.

The *fifth* and *sixth* columns contain the sums of these squares corresponding to each of the new components respectively, the quantities corresponding to radiation polarised parallel and to radiation polarised perpendicular to the axis being taken together respectively. For the original components these columns contain the values of  $\frac{2}{3}n'_2R'^2$  and  $\frac{2}{3}n'_2R''^2$ .

The *seventh* column contains the values of the wave lengths for the different components. These values may be calculated from the expression (119) for the frequencies of these components and are taken from PASCHEN'S often mentioned paper.

We will now proceed to discuss the observations on the fine structure of the hydrogen lines ( $N=1$ ) and of the analogous helium lines ( $N=2$ ) in detail, and we shall first consider the latter lines for which we may compare with the detailed results of PASCHEN'S observations. Especially in case of two of these lines, viz. 4686 Å ( $4 \rightarrow 3$ ) and 3203 Å ( $5 \rightarrow 3$ ), PASCHEN has been able to obtain in detail a confirmation of SOMMERFELD'S theory regarding the frequencies of the fine structure components, and just for these lines a theoretical interpretation of the observed intensities seems only possible if the effect of a perturbing electric field is taken into account.

Let us first consider the helium line 4686 Å ( $4 \rightarrow 3$ ) for which the observed fine structure exhibits the richest details and therefore offers the best opportunity for a comparison with the theory. In fig. 10 on Plate IV a scheme is given of the theoretical and of the empirical results regarding the fine structure of this line. In the theoretical scheme the original components are indicated by drawn lines and the new components by dotted lines. The lengths of the latter lines are for each component taken proportional to the sum of the corresponding quantities  $s(R'^2)$  and  $s(R''^2)$  appearing in Table XI, while those of the former lines are taken proportional to twice the sum of the quantities  $\frac{2}{3}n'_2R'^2$  and  $\frac{2}{3}n'_2R''^2$  appearing in this table. The intensities of the new components, as given in the figure, would correspond to an intensity of 600 Volt cM. In this connection it may be noted,

however, that owing to the fact that the relative amplitudes corresponding to the new components are of widely different order of magnitude in the initial and in the final state, we cannot expect that the sums of  $s(R'^2)$  and  $s(R''^2)$  will give more than an estimate of the order of magnitude of the intensities with which the new components must be expected to appear in comparison with the original components. The schemes representing the results of the measurements are taken from PASCHEN's paper. The one corresponds to what PASCHEN calls the "continuous discharge image" ("Gleichstrombild") of the fine structure, which appears when a

Table XI.  
Helium, 4686 Å (4 → 3).

New components (Perturbing field 300 Volt/cm)

| Component           | Transition | $R^2$                     | $R'^2$ | $s(R'^2)$      | $s(R''^2)$      | Wave length |       |
|---------------------|------------|---------------------------|--------|----------------|-----------------|-------------|-------|
| 04 $\rightarrow$ 12 | Par. {     | 04; 2 $\rightarrow$ 12; 2 | 0      | 0              |                 | 4685.684 Å  |       |
|                     |            | 04; 1 $\rightarrow$ 12; 1 | 0      | .0019          | 0               |             |       |
|                     |            | 04; 3 $\rightarrow$ 12; 2 | 0      | 0              | .002            |             |       |
|                     | Perp. {    | 04; 2 $\rightarrow$ 12; 1 | 0      | .0014          | 0               |             |       |
|                     |            | 04; 1 $\rightarrow$ 12; 2 | 0      | 0              | .001            |             |       |
|                     |            |                           |        |                |                 |             |       |
| 13 $\rightarrow$ 21 | Par.       | 13; 1 $\rightarrow$ 21; 1 | .113   | 0              | .11             | 0           | 5,331 |
|                     | Perp.      | 13; 2 $\rightarrow$ 21; 1 | .056   | 0              | .06             | 0           |       |
| 13 $\rightarrow$ 03 | Par. {     | 13; 3 $\rightarrow$ 03; 3 | .031   | 0              |                 |             | 5,837 |
|                     |            | 13; 2 $\rightarrow$ 03; 2 | .110   | 0              | .32             | 0           |       |
|                     |            | 13; 1 $\rightarrow$ 03; 1 | .176   | 0              |                 |             |       |
|                     | Perp. {    | 13; 3 $\rightarrow$ 03; 2 | 0      | 0              |                 |             |       |
|                     |            | 13; 2 $\rightarrow$ 03; 1 | .075   | 0              |                 |             |       |
|                     |            | 13; 2 $\rightarrow$ 03; 3 | .019   | 0              | .14             | 0           |       |
|                     |            | 13; 1 $\rightarrow$ 03; 2 | .048   | 0              |                 |             |       |
|                     |            |                           |        |                |                 |             |       |
| 22 $\rightarrow$ 12 | Par. {     | 22; 2 $\rightarrow$ 12; 2 | .018   | .0009          |                 |             | 5,764 |
|                     |            | 22; 1 $\rightarrow$ 12; 1 | .046   | .0035          | .06             | .004        |       |
|                     |            |                           |        |                |                 |             |       |
|                     | Perp. {    | 22; 2 $\rightarrow$ 12; 1 | 0      | .0020          | .01             | .002        |       |
|                     |            | 22; 1 $\rightarrow$ 12; 2 | .011   | 0              |                 |             |       |
|                     |            |                           |        |                |                 |             |       |
| 31 $\rightarrow$ 21 | Par.       | 31; 1 $\rightarrow$ 21; 1 | .005   | .0003          | .005            | .000        | 5,544 |
| 31 $\rightarrow$ 03 | Par.       | 31; 1 $\rightarrow$ 03; 1 | 0      | 0              | 0               | 0           | 6,050 |
|                     | Perp.      | 31; 1 $\rightarrow$ 03; 2 | 0      | 0              | 0               | 0           |       |
| Original components |            | $R^2$                     | $R'^2$ | $2/3 n_3 R'^2$ | $2/3 n_3 R''^2$ | Wave length |       |
| 04 $\rightarrow$ 03 |            | 1.00                      | 1.00   | 2.66           | 2.00            | 4685.810 Å  |       |
| 13 $\rightarrow$ 12 |            | 0.60                      | 0.50   | 1.20           | 0.68            | 5,710       |       |
| 22 $\rightarrow$ 21 |            | 0.35                      | 0.24   | 0.46           | 0.16            | 5,384       |       |
| 22 $\rightarrow$ 03 |            | 0.02                      | 0      | 0.03           | 0               | 5,890       |       |
| 31 $\rightarrow$ 12 |            | 0.05                      | 0.01   | 0.03           | 0.01            | 5,924       |       |

Table XII.  
Helium, 3203 Å (5 → 3).

New components (Perturbing field 300 Volt cm)

| Component           | Transition | $R^2$                     | $R'^2$ | $s(R^2)$         | $s(R'^2)$         | Wave length |            |
|---------------------|------------|---------------------------|--------|------------------|-------------------|-------------|------------|
| $05 \rightarrow 03$ | Par.       | $05; 3 \rightarrow 03; 3$ | .26    | 0                | 1.32              | .0015       | 3203.167 Å |
|                     |            | $05; 2 \rightarrow 03; 2$ | .46    | .00043           |                   |             |            |
|                     |            | $05; 1 \rightarrow 03; 1$ | .60    | .00111           |                   |             |            |
|                     |            | $05; 4 \rightarrow 03; 3$ | .19    | 0                |                   |             |            |
|                     | Perp.      | $05; 3 \rightarrow 03; 2$ | .26    | .00055           | 0.86              | .0012       |            |
|                     |            | $05; 2 \rightarrow 03; 1$ | .26    | .00055           |                   |             |            |
|                     |            | $05; 2 \rightarrow 03; 3$ | .05    | 0                |                   |             |            |
|                     |            | $05; 1 \rightarrow 03; 2$ | .10    | .00009           |                   |             |            |
| $14 \rightarrow 12$ | Par.       | $14; 2 \rightarrow 12; 2$ | .47    | 0                | 1.20              | .0008       | 3.111      |
|                     |            | $14; 1 \rightarrow 12; 1$ | .73    | .00077           |                   |             |            |
|                     | Perp.      | $14; 3 \rightarrow 12; 2$ | .28    | 0                | 0.93              | .0006       |            |
|                     |            | $14; 2 \rightarrow 12; 1$ | .35    | .00058           |                   |             |            |
|                     |            | $14; 1 \rightarrow 12; 2$ | .30    | 0                |                   |             |            |
|                     |            |                           |        |                  |                   |             |            |
| $23 \rightarrow 21$ | Par.       | $23; 1 \rightarrow 21; 1$ | .36    | 0                | 0.36              | 0           | 2.941      |
|                     | Perp.      | $23; 2 \rightarrow 21; 1$ | .18    | 0                | 0.18              | 0           |            |
| $23 \rightarrow 03$ | Par.       | $23; 3 \rightarrow 03; 3$ | .04    | 0                | 0.54              | 0           | 3.177      |
|                     |            | $23; 2 \rightarrow 03; 2$ | .19    | 0                |                   |             |            |
|                     |            | $23; 1 \rightarrow 03; 1$ | .31    | 0                |                   |             |            |
|                     | Perp.      | $23; 3 \rightarrow 03; 2$ | 0      | 0                | 0.30              | 0           |            |
|                     |            | $23; 2 \rightarrow 03; 1$ | .17    | 0                |                   |             |            |
|                     |            | $23; 2 \rightarrow 03; 3$ | .04    | 0                |                   |             |            |
|                     |            | $23; 1 \rightarrow 03; 2$ | .10    | 0                |                   |             |            |
|                     |            |                           |        |                  |                   |             |            |
| $32 \rightarrow 12$ | Par.       | $32; 2 \rightarrow 12; 2$ | .02    | .00009           | 0.09              | .0009       | 3.131      |
|                     |            | $32; 1 \rightarrow 12; 1$ | .07    | .00080           |                   |             |            |
|                     | Perp.      | $32; 2 \rightarrow 11; 1$ | 0      | .00054           | 0.01              | .0005       |            |
|                     |            | $32; 1 \rightarrow 12; 2$ | .01    | 0                |                   |             |            |
| $41 \rightarrow 21$ | Par.       | $41; 1 \rightarrow 21; 1$ | .006   | .00003           | 0.006             | .0000       | 2.992      |
| $41 \rightarrow 03$ | Par.       | $41; 1 \rightarrow 03; 1$ | 0      | 0                | 0                 | 0           | 3.228      |
|                     | Perp.      | $41; 1 \rightarrow 03; 2$ | 0      | 0                | 0                 | 0           |            |
| Original components |            | $R^2$                     | $R'^2$ | $z_{13} n_2 R^2$ | $z_{13} n_2 R'^2$ | Wave length |            |
| $14 \rightarrow 03$ |            | .049                      | 0      | .132             | 0                 | 3203.171 Å  |            |
| $23 \rightarrow 12$ |            | .049                      | .052   | .097             | .069              | 3.118       |            |
| $32 \rightarrow 21$ |            | .036                      | .031   | .047             | .021              | 2.953       |            |
| $32 \rightarrow 03$ |            | .002                      | 0      | .003             | 0                 | 3.190       |            |
| $41 \rightarrow 12$ |            | .006                      | .000   | .004             | .001              | 3.169       |            |

Table XIII.  
Hydrogen,  $H_{\alpha}$ , 6562 Å (3 → 2).

| New components (Perturbing field 300 Volt/cm) |   |        |         |               |                |             |
|---|---|--------|---------|---------------|----------------|-------------|
| Component                                     | Transitions   | $R'^2$ | $R''^2$ | $s(R'^2)$     | $s(R''^2)$     | Wave length |
| 03 $\rightarrow$ 11                           | Par. 03; 1 $\rightarrow$ 11; 1  | 0      | 0       | 0             | 0              | 6562,70 Å   |
|   | Perp. 03; 2 $\rightarrow$ 11; 1   | 0      | 0       | 0             | 0              |             |
| 12 $\rightarrow$ 02                           | Par. $\left\{ \begin{array}{l} 12; 2 \rightarrow 02; 2 \\ 12; 1 \rightarrow 02; 1 \end{array} \right.$  | 0,91   | 0       | 4,4           | 0              | 2,86        |
|   |   | 3,54   | 0       |               |                |             |
|   | Perp. $\left\{ \begin{array}{l} 12; 2 \rightarrow 02; 1 \\ 12; 1 \rightarrow 02; 2 \end{array} \right.$ | 0      | 0       | 0,8           | 0              |             |
|   |   | 0,82   | 0       |               |                |             |
| 21 $\rightarrow$ 11                           | Par. 21; 1 $\rightarrow$ 11; 1  | 0,27   | .0045   | 0,3           | .005           | 2,75        |
| Original components                           |   | $R^2$  | $R'^2$  | $2/3 n_2 R^2$ | $2/3 n_2 R'^2$ | Wave length |
| 03 $\rightarrow$ 02                           |   | 1,00   | 1,00    | 2,00          | 1,33           | 6562,84 Å   |
| 12 $\rightarrow$ 11                           |   | 0,50   | 0,35    | 0,67          | 0,23           | 2,72        |
| 21 $\rightarrow$ 02                           |   | 0,04   | 0       | 0,03          | 0              | 2,89        |

steady voltage is applied to the vacuum tube; the other to the "spark discharge image" ("Funkenbild"), which appears when the tube is exposed to an interrupted spark discharge. The heights and breadths of the hatched extensions representing the components are chosen so as to represent approximately the observed intensity and degree of diffusion. For the sake of the following discussion the observed components are, as shown in the figure, characterised by the ciphers I, II, . . . , VII.

When comparing the observations with the theory it will in the first place be seen that, although the spectrogram corresponding to the continuous discharge undoubtedly approaches more than the spectrogram obtained by the application of an interrupted discharge to the aspect of the theoretical fine structure of the spectral line of the undisturbed atom, both images given by PASCHEN differ essentially from it, because the components corresponding to (31 → 21) and (31 → 03) are present on both of them.<sup>1)</sup>

The strongest three components I, II and III in PASCHEN's continuous discharge image correspond, in agreement with the theory, to the three transitions (04 → 03),

<sup>1)</sup> Since at the time of PASCHEN's experiments a spectrogram of the fine structure would rather be considered as showing the normal effect when the maximum number of components appeared, no special attention seems to have been paid to an examination of the experimental conditions under which the smallest number of components appeared. In order to test the predictions of BOHR's theory the latter point has been examined by Dr. H. M. HANSEN at the Copenhagen physical laboratory. Although this investigation has not yet been completed, some preliminary photographs of the line 4686 Å, taken by application of a low voltage to the vacuum tube, indicate that the components (31 → 21) and (31 → 03), if present at all, were at any rate less intense compared with the main components I, II and III than in the spectrograms published by PASCHEN.

(13  $\rightarrow$  12), (22  $\rightarrow$  21) in which the angular momentum of the electron round the nucleus decreases by  $\hbar/2\pi$ . From table XI the first of these components would be expected to be stronger than the second and the second again stronger than the third. PASCHEN, however, characterises their intensities by the numbers 7, 7.5, 3 respectively *i. e.* he finds the component (04  $\rightarrow$  03) a little weaker than (13  $\rightarrow$  12). This seems to indicate again that the a-priori probability of spontaneous transition between two circular orbits in the region of small  $n$ 's is less than it would be expected from the numbers obtained by the method of estimating intensities by means of the values of the amplitudes of the harmonic vibrations occurring in the motion of the atom, these values giving, in a singular case as this, an exaggerated picture of the intensities (compare page 60). In PASCHEN's spark discharge image the three components in question also appear, but they have become more diffuse, and I has become stronger than II, the relative intensities being now characterised by 7, 6, 0.5 respectively. This might obtain an explanation if we assume that, in the case of a spark discharge, perturbing electric fields have been acting on the atoms of such intensity that the new components (22  $\rightarrow$  12) and (13  $\rightarrow$  03) have appeared with considerable intensity. In fact, these components lie so near to (04  $\rightarrow$  03) that they may be assumed together with the latter component to contribute to the intensity of the component I observed by PASCHEN, while on the other hand the new component (04  $\rightarrow$  12) which lies very near to (13  $\rightarrow$  12) will, as seen from the table, only possess a very small intensity in comparison with (22  $\rightarrow$  12) and (13  $\rightarrow$  03), and cannot therefore be expected to contribute essentially to the intensity of component II. In this connection it must, however, be remarked that the amplitudes of the harmonic vibrations of frequencies which correspond to the original components, in general, owing to the influence of the perturbing field, will have changed by small amounts proportional to  $E^2/\omega^2$ , and that as a consequence of this we may be prepared to find that the intensities of these components themselves have varied by amounts which are of the same order of magnitude as the intensities of the new components.

The weak original components (22  $\rightarrow$  03) and (31  $\rightarrow$  12) which correspond to transitions for which the angular momentum increases by  $\hbar/2\pi$ , and the theoretical distance between which would be equal to 0.034 Å, are in the continuous discharge spectrogram, as well as in the spark discharge spectrogram, recorded by PASCHEN as a single line, which in figure 10 is indicated by IV.

Moreover PASCHEN has observed separately the new components (31  $\rightarrow$  03), (31  $\rightarrow$  21) and (13  $\rightarrow$  21), indicated in the figure by V, VI and VII respectively. In table XI the values of  $s(R'^2)$  and  $s(R''^2)$  corresponding to (31  $\rightarrow$  03) are equal to zero but, as pointed out in the analogous case in the Stark effect (see page 58, compare also page 99), it is not permissible from this to draw the conclusion that the a-priori probability for this transition is zero. Also the component (31  $\rightarrow$  21) appears both on PASCHEN's continuous discharge image and spark discharge image and is stronger than (31  $\rightarrow$  03), in agreement with the table. Finally, as regards (13  $\rightarrow$  21), no corresponding component is observed in the continuous discharge image, but on the



other hand a very strong component has been observed in the spark discharge image, which lies in the middle between the theoretical positions of  $(13 \rightarrow 21)$  and  $(04 \rightarrow 21)$ . On the present theory it seems necessary to assume that the component VII corresponds to  $(13 \rightarrow 21)$  only. In fact, the intensity of the component  $(04 \rightarrow 21)$  should be expected to be connected with the value of the amplitude of the vibration of frequency  $(-2\omega_1 + 3\omega_2)$  in the motion of the electron, but under the influence of a perturbing homogeneous electric field such frequencies do not in first approximation appear in the motion of the electron in the atom. The component in question is much stronger than the other two separate new components  $(31 \rightarrow 21)$  and  $(31 \rightarrow 03)$ , in agreement with the table according to which  $(13 \rightarrow 21)$  is the strongest new component after  $(13 \rightarrow 03)$ . On the other hand it remains a remarkable fact that the new component IV appears so much stronger than the original component III which lies quite near to it, while it does not appear at all in the continuous discharge spectrogram. Apart from this difficulty, which perhaps will disappear when further experimental data become available, the observations on the fine structure of  $4686 \text{ \AA}$  seem to allow of a complete theoretical interpretation if the effect of the presence of electric fields in the vacuum tube is taken into account in the way described in the preceding. As regards the intensities of the perturbing electric forces in question it is seen from the table, which gives the values of the relative amplitudes for a force of  $300 \text{ Volt/cm}$ , that forces of  $500 \text{ \AA}$  to  $1000 \text{ Volt/cm}$  would be sufficient to give rise to new components of considerable intensities which are of the same order of magnitude as those of the new components in the spark discharge image, while in case of the continuous discharge image these forces may have been of the order  $100 \text{ \AA}$  to  $300 \text{ Volt/cm}$ .<sup>1)</sup>

Let us next proceed to the helium line  $3203 \text{ \AA}$  ( $5 \rightarrow 3$ ), where the discussion of the observed fine structure is quite analogous to that for  $4686 \text{ \AA}$ . In fig. 11 we have given a scheme of the theoretical fine structure and of the components observed by PASCHEN in the continuous discharge spectrogram. The original components are again represented by drawn lines, the new components by dotted lines. The lengths of the lines representing the original and the new components are taken proportional to the sums of the quantities appearing in the 5th and 6th columns of table XII, which is arranged in the same way as table XI. The lengths of the new components in the figure correspond to a perturbing field of  $90 \text{ Volt/cm}$ . Owing to the factor  $n^3 n_0^2$  in formula (126), the values for the relative amplitudes in the initial states, corresponding to the new components, are, for same values of  $F$ , several times larger than for the new components in  $4686 \text{ \AA}$ . This seems to offer an explanation of the fact, mentioned by PASCHEN, that in the spark discharge spectrogram of the fine structure under consideration no sharp components could be

<sup>1)</sup> In the case of one of the photographs published by PASCHEN, which is taken under such conditions that the electric current had to pass a long sparking length, the electric forces have obviously been very large since the two strongest components could not be observed separately but appeared as a broad diffuse line.

observed, but that only two broad diffuse lines were visible (with their centres of gravity lying at 3203,140 Å and 3202,964 Å), because if the electric forces present in the luminous gas are of the same order of magnitude as in the case of the spark discharge image of 4686 Å, these forces must be expected to be strong enough to destroy the details of the fine structure to a large degree. In the continuous discharge spectrogram the strongest three components I, II, III correspond to the original components  $(14 \rightarrow 03)$ ,  $(23 \rightarrow 12)$  and  $(32 \rightarrow 21)$ , and their intensities may according to PASCHEN be characterised by the numbers 7, 8, 4 respectively, in general agreement with the values of  $n'_e R'^2$  and  $n''_e R''^2$  for these components given in table X. It must be expected, however, that component I contains not only the light of the original component  $(14 \rightarrow 03)$  but also that of the original component  $(41 \rightarrow 12)$  (and perhaps  $(32 \rightarrow 03)$ ) and of the new components  $(05 \rightarrow 03)$  and  $(23 \rightarrow 03)$ ; that II represents, besides  $(23 \rightarrow 12)$ , also  $(14 \rightarrow 12)$  and perhaps  $(32 \rightarrow 12)$ , and finally that III represents, besides  $(32 \rightarrow 21)$ , also the new component  $(23 \rightarrow 21)$ . The two other weak components which PASCHEN observes in the continuous discharge image correspond to the two only new components which could be expected to appear separately, *viz.*  $(41 \rightarrow 03)$  and  $(41 \rightarrow 21)$ .

The helium lines  $(6 \rightarrow 3)$ ,  $(7 \rightarrow 3)$ ,  $(8 \rightarrow 3)$  and  $(9 \rightarrow 3)$  have also been examined by PASCHEN. For the first three of these it was found possible to detect three components I, II, III which must be assumed to correspond to transitions to the final states  $(03)$ ,  $(12)$  and  $(21)$  respectively and the positions of which coincide to a high degree of approximation with those of the original components  $(n' = 4, 4 \rightarrow 0, 3)$ ,  $(n' = 3, 3 \rightarrow 1, 2)$  and  $(n' = 2, 2 \rightarrow 2, 1)$ . In agreement with the present theory, the intensity of I was smaller than that of II but a deal larger than that of III. The energy differences between the different initial states were so small that separate new components could not be observed, but the perturbing influence of electric fields in the vacuum tube is no doubt considerable for these lines.

PASCHEN has further examined the helium lines  $(6 \rightarrow 4)$ ,  $(7 \rightarrow 4)$ , ...  $(12 \rightarrow 4)$ . The first of these lines, 6560 Å, appeared only very weak in the spectrograms and a fine structure could not be observed. An estimate for the intensities of the original components of this line has been given in table X. All the other lines showed two diffuse components the strongest of which in some spectrograms again showed a resolution in two components. Fig. 12 contains a scheme of the theoretical and of the observed fine structure of the line 5411,2 Å  $(7 \rightarrow 4)$ . For simplicity only the original components are drawn, their intensities as estimated from table X being indicated by the lengths of the lines. The arrows indicate the centres of gravity of the components observed by PASCHEN. The two small arrows on the right indicate the positions of the centres of gravity of the two components in which, in one of PASCHEN's spectrograms, the stronger component was resolved. It will be seen that the observations are in agreement with the theory. The existence of separate new components, on account of the small frequency differences between the different possible initial states, could not be observed. As it may be seen from PASCHEN'S

paper the theory agrees with the observations also in the case of the fine structure of the other lines ( $8 \rightarrow 4$ ), ( $9 \rightarrow 4$ ), ... of the series in question; the stronger of the observed components may be ascribed to transitions to the final states (04), (13), (22), the weaker to transitions to the final state (31). It need hardly be remarked that it must be expected for all the lines in question that the details of the theoretical fine structure are influenced and disturbed to a high degree by the presence of electric fields in the vacuum tube. In fact, as seen from the observations on 4686 Å, the intensity of these fields seems, in case a continuous voltage was applied to the vacuum tube, to have been of the order of magnitude of 100 à 300 Volt/cm, but fields of this intensity will, as may be seen for instance from the formulae (126), be large enough to change the character of the stationary states corresponding to  $n = 6, 7, 8, \dots$  almost completely. That it has been possible to observe a fine structure at all is, just as in case of the fine structure of the lines ( $6 \rightarrow 3$ ), ( $7 \rightarrow 3$ ), ..., due to the fact that the final states involved in the transitions ( $n' = 3$ ,  $n'' = 4$ ) are yet stable against the perturbing influence of electric fields of this order of magnitude.

Before leaving the comparison with the observations on the fine structure of the helium lines it may be of interest to emphasize that a further test of the theory may be obtained by an examination of a possible characteristic polarisation of these components with respect to the direction of the electric field in the discharge. Thus from the tables XI, XII and XIII it will be seen that, if the phenomenon is viewed in a direction perpendicular to the external electric force, we must expect that all the new components will contain a greater percentage of light polarised parallel to the electric force than of light polarised perpendicular to this direction, and especially that the component ( $31 \rightarrow 21$ ) of the line 4686 Å and the component ( $41 \rightarrow 21$ ) of the line 3203 Å should be completely polarised in the direction of the electric field. The question of the polarisation of the fine structure components seems not to have been examined by PASCHEN, and it also appears doubtful whether such a polarisation would have been detectable at all with the experimental arrangement used by this investigator, since the electric field may have quite different directions at the different points in the luminous gas which contribute to the formation of the spectroscopical image.

We shall now briefly consider the hydrogen lines ( $N = 1$ ) the fine structure of which has also been discussed in PASCHEN's paper. For this element we must expect that, owing to the circumstance that the denominator  $N^5$  appearing in formula (126) is only equal to 1, the effect of small electric fields in the vacuum tube is yet much larger than for the helium lines discussed in the preceding. This is in agreement with the well known experimental fact that in the case of the Balmer series it is very difficult to obtain spectrograms which show a distinct fine structure. In table XIII we have, as mentioned, given an estimate for the intensities of the original and of the new components in case of  $H_\alpha$  ( $3 \rightarrow 2$ ), corresponding to an intensity of the electric field of 300 Volt/cm. The values for  $s(R^2)$  in this table are so large that, already for a field of 150 Volt/cm, the influence of the field on the

initial state ( $n' = 3$ ) can hardly any more be considered as a perturbation of the fine structure, but may rather be described as an effect of the same order of magnitude as the influence of the relativity modifications. On the other hand, as seen from the value of  $R'^2$  corresponding to the transition  $(21; 1 \rightarrow 11; 1)$ , the motion in the final states is yet rather stable against perturbing forces of the order of magnitude in question. Owing to this, as well as to the smallness of the frequency differences involved in the theoretical fine structure, it has therefore only been possible to observe a doublet consisting of two diffuse components. In fig. 13 the theoretical fine structure has been schematically represented in the same way as in the figures 10 and 11. The lengths of the new components correspond to a perturbing field of 100 Volt/cm. The arrows indicate the position of the centres of gravity of the components observed by PASCHEN. The theoretical distance between the two strong original components  $(03 \rightarrow 02)$  and  $(12 \rightarrow 11)$  is 0,142 Å, while the width of the observed doublet was about 0,12 Å.<sup>1)</sup> The reason for this discrepancy must mainly be sought in the appearance of the new component  $(21 \rightarrow 11)$ , as well as in the splitting up of the components  $(03 \rightarrow 02)$  and  $(12 \rightarrow 11)$  into several components under the influence of the perturbing forces.<sup>2)</sup> This point will be discussed more closely in the later paper on the transmutation of the fine structure into the Stark effect, referred to above, but it has been mentioned here in order to draw attention to the difficulties which are involved in an exact determination of the constant  $K$  for hydrogen, appearing in formula (120), from measurements on the wave length of the hydrogen lines. As regards the measurements of the relative intensities of the components of the  $H_\alpha$  doublet, MEISSNER finds that the relative intensities of the component of larger and of that of shorter wave length may be represented by the numbers 7 and 5 respectively.<sup>3)</sup> This seems again to indicate that the a-priori probability for a transition between two circular orbits  $(03 \rightarrow 02)$  is less than would be expected from the estimate afforded by table IX, which is based on the method discussed in § 5. As regards the other lines in the Balmer series of hydrogen,  $H_\beta, H_\gamma, \dots$  doublets the width of which is of the right order of magnitude have been observed, but these lines are disturbed to a yet higher degree by small electric fields in the vacuum tube than  $H_\alpha$ . In general it will be seen that, when different investigators have found different values for the width of the doublet of one and the same hydrogen line, this may be due to the presence of perturbing fields of different intensities in the luminous gas. Especially, when certain authors find that the doublets of the higher members of the Balmer series are smaller than should be expected from SOMMERFELD's theory of the fine structure of the spectral lines emitted by the undisturbed hydrogen

<sup>1)</sup> See PASCHEN, loc. cit. p. 933, compare also SOMMERFELD, Ann. d. Phys. LI, p. 68 (1916).

<sup>2)</sup> From the formula for  $\Delta\nu$  given in note 3 on page 77 it is simply seen that in first approximation all components in which  $(03 \rightarrow 02)$  will split up under the influence of an electric field are displaced in the direction of shorter wave length, while those of  $(12 \rightarrow 11)$  are displaced in the direction of longer wave length.

<sup>3)</sup> See F. PASCHEN, loc. cit. p. 933.



atom<sup>1</sup>), this does not constitute a difficulty for the theory but it just what should be expected according to the above considerations of the effect of perturbing fields on the fine structure.

## § 8. The effect of a magnetic field on the fine structure of the hydrogen lines.

In this chapter we shall briefly consider certain points which present themselves in connection with the application of the quantum theory to the problem of the effect of a magnetic field on the fine structure of the hydrogen lines, and from which it is possible to draw conclusions which are of interest in connection with the problems discussed in the preceding chapters.

The problem of the influence of a homogeneous magnetic field on the hydrogen atom may be treated in a similar way as the influence of an electric field on the simplified hydrogen atom, since the equations of motion of the electron also in the presence of the magnetic field may be written in the canonical form and since, if we look apart from small quantities proportional to the square of the intensity of the magnetic force, a solution of these equations may be obtained by separation of variables in the HAMILTON-JACOBI partial differential equation if polar coordinates are introduced.<sup>2</sup>) The motion in the stationary states will then be fixed by three conditions of the type (99). The results obtained in this way may be very simply interpreted. In fact, as mentioned in § 2, the mechanical motion of the electron in the hydrogen atom in the presence of a homogeneous magnetic field differs from a mechanical motion in the absence of this field only by a slow and uniform superposed rotation round an axis through the nucleus parallel to the magnetic force, the frequency  $\nu_H$  of which is given by (40), and it is simply shown that the stationary states of the system in the presence of the field are obtained by superposing a rotation of this kind on a stationary motion of the atom without field which, besides satisfying the conditions (117) characterising the stationary states of the undisturbed atom, satisfies the further condition that the value of the angular momentum of the electron round the axis is equal to an entire multiple of  $\hbar/2\pi$ <sup>3</sup>). Denoting this value by  $n\hbar/2\pi$ , the stationary states may, in analogy with the notation used in the preceding chapter, be characterised by the symbol  $(n_1, n_2; n)$ . Further the different possible stationary states corresponding to different combinations of  $n_1, n_2, n$  ( $n_2 \leq n$ ) will again be a-priori equally probable, but just as in the case of the perturbed system treated in the preceding chapter, we must assume that neither  $n_2$  nor  $n$  can assume the value zero.

<sup>1</sup>) See T. R. MERTON and J. W. NICHOLSON, Trans. Roy. Soc. A 555 (1918).

<sup>2</sup>) Compare A. SOMMERFELD, Phys. Zeitschr. XVII, p. 491 (1916), and especially P. DEBYE, *ibid.* p. 507.

<sup>3</sup>) Compare BOHR, *loc. cit.* Part. II, p. 82.



Proceeding to discuss the effect of the magnetic field on the spectrum we see in the first place that the energy in a given stationary state will differ from the energy in the corresponding stationary state of the undisturbed atom, which was given by (118), only by a small term proportional to the intensity  $H$  of the magnetic field, which represents the effect of the superposed rotation on the kinetic energy of the system. This term is simply shown to be equal to  $\pm n h v_H = \pm n h \frac{eH}{4\pi mc}$ , where the upper or the lower sign holds according to whether the direction of the superposed rotation is the same as or the opposite of that of the revolution of the electron round the axis respectively. Considering a transition  $(n', n'_z; n' \rightarrow n'', n''_z; n'')$  between the initial state  $(n'_1, n'_2; n')$  and the final state  $(n''_1, n''_2; n'')$  we see therefore that the frequency of the emitted radiation will be given by

$$\nu = \nu_0 + \nu_1 + \nu_2 + \nu_3, \quad (128)$$

where  $\nu_0$ ,  $\nu_1$  and  $\nu_2$  have the same signification as in (120), (121) and (122), while  $\nu_3$  is given by

$$\nu_3 = \pm \frac{eH}{4\pi mc} (n' - n''). \quad (129)$$

As shown by SOMMERFELD and DEBYE the formulæ (128) and (129) offer an interpretation, as regards the frequencies, of the effect of a magnetic field on the hydrogen lines, since, putting  $n' - n'' = 0$  and  $n' - n'' = \pm 1$ , and disregarding the terms  $\nu_1$  and  $\nu_2$ , which refer to the line structure, we obtain the frequencies of the three components in which the hydrogen lines are split up, these lines showing a normal Zeeman effect. Further BOHR showed that it is possible, on the basis of the formal connection between the quantum theory of line spectra and the ordinary theory of radiation, to obtain a natural interpretation of the characteristic polarisation of the observed three components, as well as of the fact that no further components appear; the theory of the Zeeman effect thereby obtaining a remarkable formal analogy with the theory originally devised by LORENTZ on the basis of the classical theory of electrodynamics.

From the considerations in § 2 it is seen that in the presence of a homogeneous magnetic field the motion of the electron in the hydrogen atom may be resolved in a number of linear harmonic vibrations of frequencies  $\tau_1 \omega_1 + \omega_2$  parallel to the direction of the field, and in a number of circular harmonic rotations of frequencies  $\tau_1 \omega_1 - \omega_2 - v_H$  perpendicular to this direction. Now it is easily shown that the frequency emitted during a transition  $(n'_1, n'_2; n' \rightarrow n''_1, n''_2; n'')$  will be equal to the mean value of the frequency  $(n'_1 - n''_1)\omega_1 \pm (n'_2 - n''_2)\omega_2 \pm (n' - n'')v_H$ , taken over the multitude of mechanically possible states, lying between the initial state and the final state, which are characterized by  $n_k = n''_k + \lambda(n'_k - n''_k)$ , ( $k=1, 2$ ) and  $n = n'' + \lambda(n' - n'')$ ,  $\lambda$  assuming all values between 0 and 1. With reference to the formal connection between the quantum theory and the ordinary theory of radiation we may therefore conclude that only such transitions will be possible for which  $n$  remains unchanged, the emitted radiation being polarised parallel to

the axis, and transitions for which  $n$  decreases or increases by one unit, the emitted radiation being circularly polarised perpendicular to the axis, and that for both types of transitions  $n_z$  must either decrease or increase by one unit. From this it follows directly with reference to (128) and (129) that, as mentioned in BOHR's paper, the effect of the magnetic field on the fine structure of the hydrogen lines will consist in the splitting up of every fine structure component into one undisplaced component polarised parallel to the direction of the field and two symmetrical components at a distance  $\frac{eH}{4\pi mc}$  from the undisplaced component, which appear as circularly polarised in opposite directions when viewed in the direction of the field and as linearly polarised perpendicular to the field when viewed in a direction perpendicular to the field.

As regards the intensities of these components we may in the first place obviously conclude that the latter two components are of equal intensity, since, if the effect is viewed in the direction of the field, they must not show characteristic polarisation when taken together. Further when viewed in a direction perpendicular to the field the intensity of each of the perpendicular components must be equal to half the intensity of the parallel undisplaced component, since we must equally assume that, when viewed in this direction, the ensemble of components into which the unpolarised fine structure component is split up does not exhibit characteristic polarisation. The theoretical effect of a magnetic field on the fine structure of the hydrogen lines may therefore be described as the splitting up of every fine structure component into a LORENTZ triplet.

We have thus met with an illustrative application of the considerations on page 49 at the end of § 5, and it is seen that the problem of the Zeeman effect of the fine structure of the hydrogen lines does not involve a new intensity problem if the intensity distribution in the undisturbed fine structure is known. It will therefore be of special interest in this case to compare the relative intensities of the Zeeman effect components with the amplitudes of the harmonic vibrations occurring in the states of the perturbed motion, since, owing to the circumstance that we have beforehand some information about these intensities, such a comparison will give us valuable information about the way in which the estimate of the relative intensities of spectral components, based on the values of these amplitudes, may be expected to fail if the numbers characterising the stationary states are small. For this purpose we have in the case of two special lines, *viz.* the helium line 4686 Å ( $4 \rightarrow 3$ ) and the hydrogen line  $H_\gamma$  (6562 Å), ( $3 \rightarrow 2$ ), calculated the squares of the relative amplitudes of the corresponding harmonic vibrations which occur in the initial states and in the final states involved in the different transitions giving rise to the different components of the Zeeman effect of the fine structure. The result of these calculations will be found in tables XIV and XV.

The *first* column contains the symbols ( $n'_1, n'_2 \rightarrow n''_1, n''_2$ ) characterising the transitions corresponding to the fine structure components of the undisturbed hydrogen atom.

The *second* column contains the symbols  $(n'_1, n'_2; n' \rightarrow n''_1, n''_2; n'')$  characterising the transitions which may take place between two stationary states of the atom perturbed by the magnetic field. The transitions corresponding to the same fine structure component which give rise to radiation of similar polarisation are collected in brackets, the character of the polarisation being indicated by Par. or Perp.

The *third* and *fourth* columns contain the squares of the relative amplitudes, given by (42), of the vibrations of frequency  $(n'_1 - n''_1)\omega_1 + (n'_2 - n''_2)\omega_2 \pm (n' - n'')\omega_H = (n'_1 - n''_1)\omega_1 + (n'_2 - n''_2 - n'' - n')\omega_2 + (n' - n'')\omega_3$  occurring in the initial state and in the final state of the transition under consideration respectively. These relative amplitudes are calculated by means of the expressions

$$\left. \begin{aligned} R(\tau - 1 \omega_1 + \omega_2) &= \frac{\mu'}{2\tau} \{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \}, \\ R(\tau - 1 \omega_1 + \omega_3) &= \frac{1 + \mu'}{4\tau} \{ (1 + \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 - \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \}, \\ R(\tau + 1 \omega_1 - 2\omega_2 + \omega_3) &= \frac{1 - \mu'}{4\tau} \{ (1 - \varepsilon') J_{\tau-1}(\tau\varepsilon) - (1 + \varepsilon') J_{\tau+1}(\tau\varepsilon) \}. \end{aligned} \right\} \quad (130)$$

where  $\varepsilon' = \frac{n_2}{n}$ ,  $\varepsilon = \sqrt{1 - \varepsilon'^2}$ ,  $n = n_1 + n_2$ ,  $\mu' = \frac{n}{n_2}$ ,  $\mu = \sqrt{1 - \mu'^2}$ .

The *fifth* and *sixth* columns contain the sums  $s(R^2)$  and  $s(R'^2)$  of the squares of the relative amplitudes belonging to the transitions corresponding to a same fine structure component which give rise to radiations of similar polarisation.

The *seventh* and *eighth* columns contain the values of  $n'_2 R^2$  and  $n''_2 R'^2$ , appearing in tables IX and X, multiplied by the factor  $\frac{2}{3}$ . These numbers, as mentioned on page 84, afford an estimate for the relative intensities of the fine structure components which is directly comparable with the estimate afforded by the numbers in the fifth and sixth columns.

When considering these tables it will in the first place be observed that for a given fine structure component the quantities  $s(R^2)$  Par. and  $s(R^2)$  Perp., which correspond to the intensity of the undisplaced parallel component and to twice the intensity of one of the outer components of the LORENTZ triplet respectively, are not equal to each other, although, as mentioned in the above, these two intensities are the same. Moreover the quantities  $s(R^2)$  Par. and  $s(R^2)$  Perp. differ both from the value of the quantity  $\frac{2}{3} n_2 R^2$  appearing in the seventh and eighth columns, which corresponds to the same intensity. From the connection with ordinary electrodynamics in the region of large  $n$ 's we know that for a fine structure component  $(n'_1 n'_2 \rightarrow n''_1 n''_2)$  for which the  $n$ 's are large numbers these three quantities would tend to coincide, but in the case of the lines considered in the tables they show considerable differences. If we especially would consider the hydrogen line  $(2 \rightarrow 1)$ , which corresponds to the smallest possible values for  $n'$  and  $n$ , these differences become still more marked. This line will not show a fine structure because in the undisturbed atom only the

Table XIV.  
Helium, 4686 Å (4 → 3).

| Component           | Transition  | $R^2$ | $R'^2$ | $s(R^2)$ | $s(R'^2)$ | $(\frac{2}{3})_s n_2^2 R^2$ | $(\frac{2}{3})_s n_2^2 R'^2$ |
|---------------------|---|-------|--------|----------|-----------|-----------------------------|------------------------------|
| $04 \rightarrow 03$ | Par. $\begin{cases} 04; 3 \rightarrow 03; 3 \\ 04; 2 \rightarrow 03; 2 \\ 04; 1 \rightarrow 03; 1 \end{cases}$  | 0,44  | 0      | 2,13     | 1,45      | 2,66                        | 2,00                         |
|                     |   | 0,75  | 0,56   |          |           |                             |                              |
|                     |   | 0,94  | 0,89   |          |           |                             |                              |
|                     | Perp. $\begin{cases} 04; 4 \rightarrow 03; 3 \\ 04; 3 \rightarrow 03; 2 \\ 04; 2 \rightarrow 03; 1 \\ 04; 2 \rightarrow 03; 3 \\ 04; 1 \rightarrow 03; 2 \end{cases}$ | 1,00  | 1,00   | 2,53     | 2,16      |                             |                              |
|                     |   | 0,77  | 0,69   |          |           |                             |                              |
|                     |   | 0,56  | 0,44   |          |           |                             |                              |
|                     |   | 0,06  | 0      |          |           |                             |                              |
|                     |   | 0,14  | 0,03   |          |           |                             |                              |
| $13 \rightarrow 12$ | Par. $\begin{cases} 13; 2 \rightarrow 12; 2 \\ 13; 1 \rightarrow 12; 1 \end{cases}$   | 0,33  | 0      | 0,88     | 0,38      | 1,20                        | 0,68                         |
|                     |   | 0,53  | 0,38   |          |           |                             |                              |
|                     | Perp. $\begin{cases} 13; 3 \rightarrow 12; 2 \\ 13; 2 \rightarrow 12; 1 \\ 13; 1 \rightarrow 12; 2 \end{cases}$   | 0,60  | 0,50   | 1,09     | 0,78      |                             |                              |
|                     |   | 0,42  | 0,28   |          |           |                             |                              |
|                     |   | 0,07  | 0      |          |           |                             |                              |
|                     |   |       |        |          |           |                             |                              |
| $22 \rightarrow 21$ | Par. $22; 1 \rightarrow 21; 1$  | 0,27  | 0      | 0,27     | 0         | 0,47                        | 0,16                         |
|                     | Perp. $22; 2 \rightarrow 21; 1$   | 0,35  | 0,24   | 0,35     | 0,24      |                             |                              |
| $22 \rightarrow 03$ | Par. $\begin{cases} 22; 2 \rightarrow 03; 2 \\ 22; 1 \rightarrow 03; 1 \end{cases}$   | 0     | 0      | 0,015    | 0         | 0,026                       | 0                            |
|                     |   | 0,015 | 0      |          |           |                             |                              |
|                     | Perp. $\begin{cases} 22; 2 \rightarrow 03; 1 \\ 22; 2 \rightarrow 03; 3 \\ 22; 1 \rightarrow 03; 2 \end{cases}$   | 0     | 0      | 0,030    | 0         |                             |                              |
|                     |   | 0,019 | 0      |          |           |                             |                              |
|                     |   | 0,011 | 0      |          |           |                             |                              |
|                     |   |       |        |          |           |                             |                              |
| $31 \rightarrow 12$ | Par. $31; 1 \rightarrow 12; 1$  | 0     | 0,006  | 0        | 0,006     | 0,034                       | 0,010                        |
|                     | Perp. $31; 1 \rightarrow 12; 2$   | 0,051 | 0,008  | 0,051    | 0,008     |                             |                              |

Table XV.  
Hydrogen, 6562 Å,  $H_\alpha$  (3 → 2).

| Component           | Transition                      |                           | $R^2$ | $R'^2$ | $s(R^2)$ | $s(R'^2)$ | $(\frac{2}{3})_s n_2^2 R^2$ | $(\frac{2}{3})_s n_2^2 R'^2$ |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------|-------|--------|----------|-----------|-----------------------------|------------------------------|
| 03 $\rightarrow$ 02 | Par.                            | 03; 2 $\rightarrow$ 02; 2 | 0,56  | 0      | 1,46     | 0,75      | 2,00                        | 1,33                         |
|                     |                                 | 03; 1 $\rightarrow$ 02; 1 | 0,90  | 0,75   |          |           |                             |                              |
|                     | Perp.                           | 03; 3 $\rightarrow$ 02; 2 | 1,00  | 1,00   | 1,80     | 1,56      |                             |                              |
|                     |                                 | 03; 2 $\rightarrow$ 02; 1 | 0,69  | 0,56   |          |           |                             |                              |
|                     |                                 | 03; 1 $\rightarrow$ 02; 2 | 0,11  | 0      |          |           |                             |                              |
|                     |                                 |                           |       |        |          |           |                             |                              |
| 12 $\rightarrow$ 11 | Par. 12; 1 $\rightarrow$ 11; 1  | 0,38                      | 0     | 0,38   | 0        | 0,67      | 0,23                        |                              |
|                     | Perp. 12; 2 $\rightarrow$ 11; 1 | 0,50                      | 0,35  | 0,50   | 0,35     |           |                             |                              |
| 21 $\rightarrow$ 02 | Par. 21; 1 $\rightarrow$ 02; 1  | 0                         | 0     | 0      | 0        | 0,026     | 0                           |                              |
|                     | Perp. 21; 1 $\rightarrow$ 02; 2 | 0,038                     | 0     | 0,038  | 0        |           |                             |                              |

transition  $(02 \rightarrow 01)$  will be possible. In the presence of a magnetic field it will split up into a normal LORENTZ triplet, where the undisplaced parallel component corresponds to the transition  $(02; 1 \rightarrow 01; 1)$  and each of the outer components to the transition  $(02; 2 \rightarrow 01; 1)$ . The values of  $R^2$  and  $R'^2$  corresponding to the former transition are easily seen to be equal to 1 and 0 respectively, while those corresponding to the latter transition are both equal to 1.

In this connection it may be of interest to notice that, for all the fine structure components considered, the value of  $s(R^2)$  Perp. is larger than that of  $s(R^2)$  Par., and that in the case of the components  $(04 \rightarrow 03)$ ,  $(03 \rightarrow 02)$  and especially  $(02 \rightarrow 01)$  this seems to be due mainly to the large values of  $R^2$  and  $R'^2$  ( $R^2 = R'^2 = 1$ ) corresponding to transitions between two stationary states in both of which the orbit of the electron is circular. This is in agreement with the analogous facts mentioned in the discussion of the theory of the Stark effect and of the fine structure, which seemed to indicate the general result that the estimate of the intensities of spectral lines by means of the values of the amplitudes of the corresponding harmonic vibrations in the states implied in the transitions assumes, in the region of small  $n$ 's, an exaggerate character as soon as, owing to the singular character of the motion in these states, the values of these amplitudes become either especially large (*e. g.* transition from circular orbit to circular orbit) or especially small (*e. g.* transition from non-circular orbit to circular orbit).

An interesting remark may further be made in connection with the Zeeman effect of the component  $(21 \rightarrow 02)$  in  $H_{\alpha}$ . This component will, under the influence of the magnetic field, be split up into an undisplaced parallel component corresponding to  $(21; 1 \rightarrow 02; 1)$  and two perpendicular components corresponding to  $(21; 1 \rightarrow 02; 2)$  the intensity of each of which is equal to half the intensity of the undisplaced component. The values of  $R^2$  and  $R'^2$  corresponding to  $(21; 1 \rightarrow 02; 1)$  are, however, both equal to zero, so that we are able to conclude by purely theoretical argument that the a-priori probability for a transition, for which the amplitudes of the harmonic vibrations of corresponding frequency occurring in the motion in the initial state and in the final state are both equal to zero, will not necessarily be equal to zero. In the discussion of the Stark effect and of the influence on the fine structure due to a small electric field we have already met with analogous transitions, and just as in those cases, we have in the present case that the amplitude of the corresponding harmonic vibration is different from zero in the mechanically possible states lying between the initial state and final state, and which here are characterised by  $(2\lambda, 2 - \lambda; 1)$ , where  $0 < \lambda < 1$ .

Especially when considering transitions of the type just discussed the question arises whether the estimate of the intensities of the components in which a spectral line is split up would not be essentially improved by comparing these intensities with some kind of mean value of the square of the corresponding amplitude taken



over the states lying between the initial state and the final state. Although, as mentioned in § 5 (compare page 63), such a calculation may perhaps permit of accounting in more detail for the observed intensities, a consideration of the Zeeman effect of the hydrogen lines can, however, be used to show that no simple type of mean value will be able to give an exact measure for the relative intensities. Let us thus especially consider the hydrogen line  $(2 \rightarrow 1)$ , which in a magnetic field will show the components  $(02; 1 \rightarrow 01; 1)$  and  $(02; 2 \rightarrow 01; 1)$ . In the states characterised by  $(0, 1 + \lambda; 1)$  the square of the relative amplitude of the harmonic vibration of frequency  $\omega_2$  is, as seen from (130), given by  $1 - \frac{1}{(1 + \lambda)^2}$ , while in the states characterised by  $(0, 1 + \lambda; 1 + \lambda)$  the square of the relative amplitude of the harmonic vibration of frequency  $\omega_2$  is equal to 1. Now it is beforehand clear that any simple type of mean value of  $1 - \frac{1}{(1 + \lambda)^2}$ , taken over all values of  $\lambda$  between 0 and 1, never can be equal to 1, which number obviously represents any such mean value corresponding to the second transition. Since nevertheless the corresponding intensities are the same, we are therefore directly led to the above conclusion. If, for instance, we would use the logarithmic mean value defined by (109) which, as mentioned on page 46, for several reasons offers itself naturally for an estimate of the intensities, we would for the first transition, as it may be shown by a simple calculation, get the value  $\frac{313}{16}$ , while for the second transition we would get 1. Even if we may be justified in expecting that in general it will be possible by means of the mean value in question to obtain a closer estimate of the relative intensities of spectral lines, we see from this example that, in case the  $n$ 's are small, the errors involved in such an estimate may become considerable in especially chosen unfavourable cases.

---

In concluding this paper it may be useful once more to emphasize the incomplete and preliminary character of the underlying considerations. Nevertheless the results obtained as regards the applications to the Stark effect and to the fine structure of the hydrogen lines must be considered as affording a general support of BOHR's fundamental hypothesis of the connection between the intensity of spectral lines and the amplitudes of the harmonic vibrations into which the motion of the electron in the atom may be resolved, the more so because it seemed possible to obtain a natural understanding of certain marked deviations of the observed intensities from the preliminary theoretical estimate of the intensity distribution obtained on the basis of this hypothesis. It seems therefore justifiable to conclude that BOHR's considerations offer a sound basis for a further development of the theory of intensities of spectral lines.

# CONTENT

|                    | Page    |
|--------------------|---------|
| Introduction ..... | 3 (287) |

## Part I.

### Examination of the trigonometric series representing the motion of the electron in the hydrogen atom.

|  |          |
|--|----------|
| § 1. General method applicable to conditionally periodic systems .....                       | 5 (289)  |
| § 2. Hydrogen atom undisturbed by external influences .....                                  | 10 (294) |
| § 3. Hydrogen atom under the influence of a strong homogeneous electric field of force ..... | 16 (300) |
| § 4. Hydrogen atom under the influence of a weak homogeneous electric field of force .....   | 26 (310) |

## Part II.

### Discussion of the intensities of the components of the hydrogen lines.

|  |          |
|--|----------|
| § 5. Application of the quantum theory to the problem of the intensity of spectral lines ....  | 38 (322) |
| § 6. The Stark effect of the hydrogen lines.....   | 49 (333) |
| § 7. The fine structure of the hydrogen lines.....   | 68 (352) |
| I. The relative intensities of the components of the fine structure of the lines of the<br>spectrum of the undisturbed hydrogen atom ..... | 71 (355) |
| II. Effect of a weak electric field on the fine structure.....   | 75 (359) |
| III. Comparison of the theory with the observations on the fine structure .....  | 84 (368) |
| § 8. The effect of a magnetic field on the fine structure of the hydrogen lines.....   | 94 (378) |

## DESCRIPTION OF PLATES

Plate I and Plate II. Stark effect of hydrogen lines. Fig. 1, 2, 3 and 4. Comparison for  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$  and  $H_{\delta}$  of theoretical estimate of relative intensities of components with STARK's observations (see page 55).

Fig. 5. Reproduction of STARK's photographs of effect of electric field on  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$  and  $H_{\delta}$  (see page 54).

Fig. 6. Theoretical estimate of effect of electric field on hydrogen line  $H_{\epsilon}$  (see page 63).

Plate III. Stark effect of helium lines. Fig. 7, 8, 9. Theoretical aspect of electric resolution of 4686 Å, 3203 Å, 2733 Å, compared with the rough analysis of this resolution observed by NYQUIST and by STARK, the observed components being indicated by arrows (see page 64).

In all figures of theoretical estimate of intensities of Stark effect components, components represented by dots mean that the theoretical estimate for the intensity of these components is too small to be conveniently represented on the same scale as other components.

Plate IV. Fine structure of hydrogen and helium lines. Fig. 10, 11, 13. Theoretical fine structure of helium lines 4686 Å and 3203 Å, and of hydrogen line  $H_{\alpha}$ , compared with PASCHEN's observations. Lengths of drawn components proportional to estimate of intensities of components of fine structure for undisturbed atom. For the sake of convenience, however, component (04 → 03) in fig. 10 and component (03 → 02) in fig. 13 are represented by lines 2.5 times shorter than that corresponding to scale of other components. Dotted lines represent estimates of intensities of new components corresponding to electric field of 600 Volt/cm in fig. 10, of 90 Volt/cm in fig. 11 and of 100 Volt/cm in fig. 13 (see pages 85, 90 and 93).

Fig. 12. Theoretical estimate of intensities of original components of fine structure of helium line 5411 Å, compared with PASCHEN's observations (see page 91).

Components represented by small squares in the case of original components and by one dot in the case of new components have generally theoretical intensities which are far too small to be conveniently represented on the scale used.







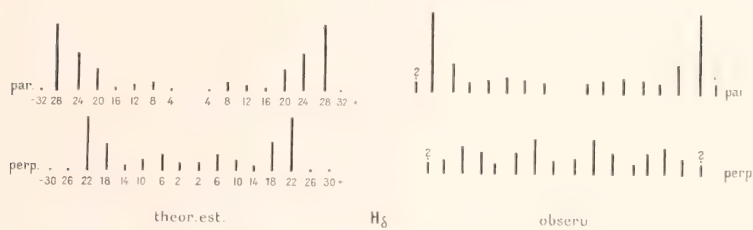


Fig. 4

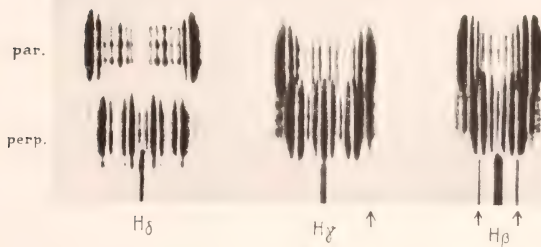


Fig. 5

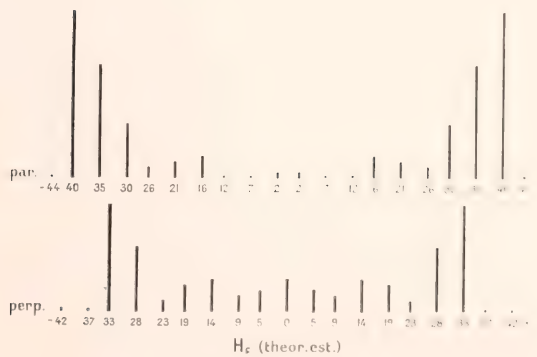


Fig. 6



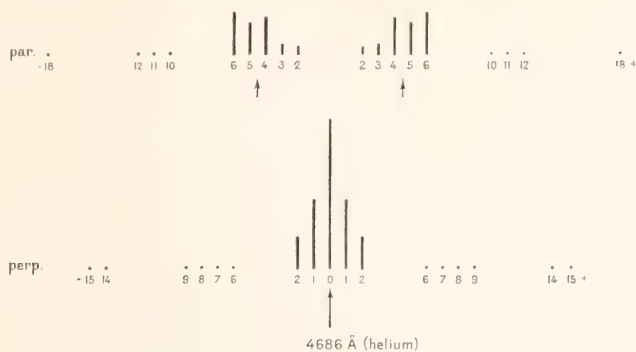


Fig. 7

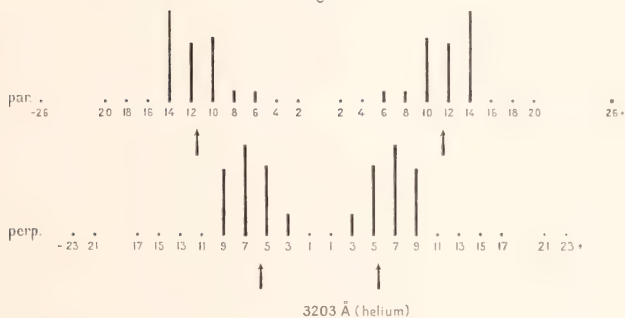


Fig. 8

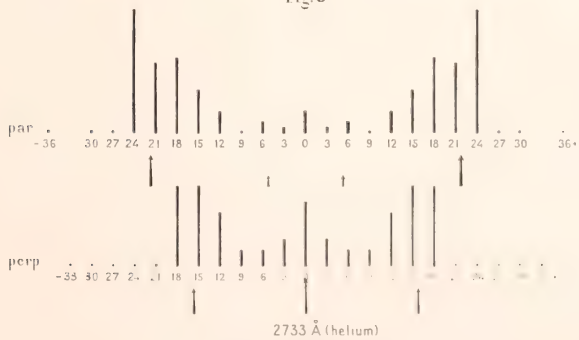


Fig. 9



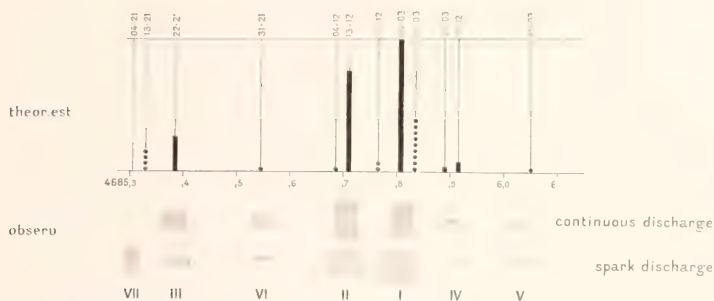


Fig. 10 4686 Å (helium), (4→3).

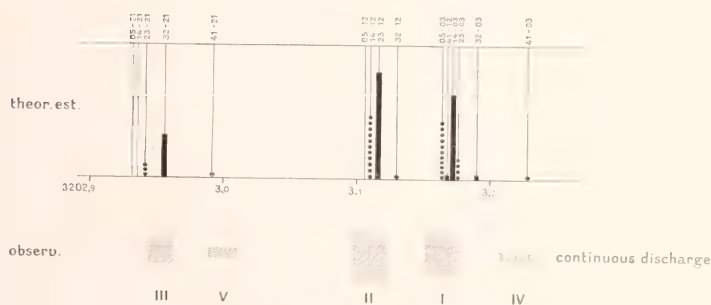


Fig. 11 3203 Å (helium), (5→3).

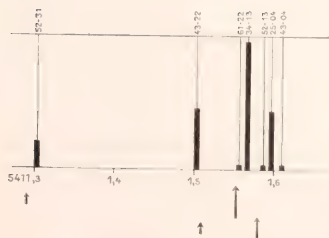


Fig. 12 5411 Å (helium), (7→4).

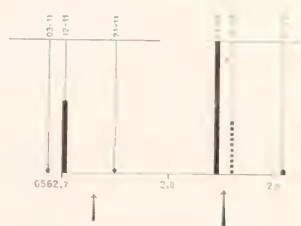


Fig. 13 6562 Å (hydrogen,  $H_{\alpha}$ ), (3→2).









# FURESØSTUDIER

EN BATHYMETRISK

BOTANISK ZOOLOGISK UNDERSØGELSE

AF MOLLEAAENS SOER

AF

C. WESENBERG-LUND

UNDER MEDVIRKNING AF

OBERST M. J. SAND, MAG. J. BOYE PETERSEN, FRU A. SEIDELIN RAUNKIÆR  
OG MAG. SC. C. M. STEENBERG

MED 7 BATHYMETRISKE KORT, 7 VEGETATIONSKORT, 8 TAVLER OG  
CA. 50 I TEXTEN TRYKTE FIGURER

*AVEC UN RÉSUMÉ EN FRANÇAIS*

D. KGL. DANSKE VIDENSK. SELSK. SKRIFTER, NATURVIDENSK. OG MATHEM. AFD., 8. RÆKKE III. 1

---

KØBENHAVN

HOVEDKOMMISSIONÆR: ANDR. FRED. HØST & SØN, KGL. HOF-BOGHADEL

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1917

Pris: 22 Kr.

# Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter, 6te Række.

## Naturvidenskabelig og matematisk Afdeling.

|   | Kr. Øre |
|---|---------|
| <b>I,</b> med 42 Tavler, 1880—85 . . . . .  | 29. 50. |
| 1. Prytz, K. Undersøgelser over Lysets Brydning i Damp og tilsvarende Vædske. 1880 . . . . .  | • 65.   |
| 2. Boas, J. E. V. Studier over Decapodernes Slægtskabsforhold. Med 7 Tavler. Résumé en français. 1880 . . . . .   | 8. 50.  |
| 3. Steenstrup, Jap. Sepidiarium og Idiospeus, to nye Slægter af Sepiernes Familie. Med Bemærkninger om to beslægtede Former Sepioiden D'Orb. og Spirula Lmk. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1881 . . . . .      | 1. 35   |
| 4. Colding, A. Nogle Undersøgelser over Stormen over Nord- og Mellem-Europa af 12te—14de Novb. 1872 og over den derved fremkaldte Vandflod i Østersøen. Med 23 Planer og Kort. Résumé en français. 1881 . . . . . | 10. "   |
| 5. Boas, J. E. V. Om en fossil Zebra-Form fra Brasiliens Campos. Med et Tillæg om to Arter af Slægten Hippidion. Med 2 Tavler. 1881 . . . . .   | 2. "    |
| 6. Steen, A. Integration af en lineær Differentialligning af anden Orden. 1882 . . . . .  | • 50.   |
| 7. Krabbe, H. Nye Bidrag til Kundskab om Fuglens Bændelorme. Med 2 Tavler. 1882 . . . . .   | 1. 35   |
| 8. Hannover, A. Den menneskelige Hjernes Bynning ved Aucecephalia og Misdannelsens Forhold til Hjerneskalens Primordialbrusk. Med 2 Tavler. Extrait et explication des planches en français. 1882 . . . . .       | 1. 60.  |
| 9. — Den menneskelige Hjernes Bynning ved Cyclopa og Misdannelsens Forhold til Hjerneskalens Primordialbrusk. Med 3 Tavler. Extrait et explic. des planches en français. 1884 . . . . .                           | 4. 35.  |
| 10. — Den menneskelige Hjernes Bynning ved Synotia og Misdannelsens Forhold til Hjerneskalens Primordialbrusk. Med 1 Tavle. Extrait et explic. des planches en français. 1884 . . . . .                           | 1. 30.  |
| 11. Lehmann, A. Forsøg paa en Forklaring af Synsvinklens Indflydelse paa Opfattelsen af Lys og Farve ved direkte Syn. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1885 . . . . .   | 1. 85.  |
| <b>II,</b> med 20 Tavler, 1881—86 . . . . .   | 20. "   |
| 1. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 1ste Afhandling. Med 6 Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1881 . . . . .  | 3. 15.  |
| 2. Lorenz, L. Om Metallernes Ledningsevne for Varme og Elektricitet. 1881 . . . . .   | 1. 30.  |
| 3. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 2den Afhandling. Med 9 Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1882 . . . . .  | 5. 30.  |
| 4. Christensen, Odin. Bidrag til Kundskab om Manganets Ilt. 1883 . . . . .  | 1. 10.  |
| 5. Lorenz, L. Farvespredningens Theori. 1883 . . . . .  | • 60.   |
| 6. Gram, J. P. Undersøgelser ang. Mængden af Primtal under en given Grænse. Résumé en français. 1884 . . . . .  | 4. "    |
| 7. Lorenz, L. Bestemmelse af Kviksølvsøjlers elektriske Ledningsmodstande i absolut elektromagnetisk Maal. 1885 . . . . .   | • 80.   |
| 8. Transtedt, M. P. A. Spolia Atlantica. Bidrag til Kundskab om Salperne. Med 2 Tavler. Explic. des planches en français. 1885 . . . . .  | 3. "    |
| 9. Behr, Chr. Om Itens Afvigelse fra den Boyle-Mariotteske Lov ved lave Tryk. Med 1 Tavle. 1885 . . . . .   | 1. "    |
| 10. — Undersøgelser over den af Blodfarvestoffet optagne Iltmængde udført ved Hjælp af et nyt Absorptionsmeter. Med 2 Tavler. 1886 . . . . .  | 1. 70.  |
| 11. Thiele, T. N. Om Definitionerne for Tallet, Talarterne og de tallignende Bestemmelser. 1886 . . . . .   | 2. "    |
| <b>III,</b> med 6 Tavler, 1885—86 . . . . .   | 16. "   |
| 1. Zeuthen, H. G. Keglesnitlæren i Oldtiden. 1885 . . . . .   | 10. "   |
| 2. Levlinsen, G. M. R. Spolia Atlantica. Om nogle pelagiske Annulata. Med 1 Tavle. 1885 . . . . .   | 1. 10   |
| 3. Rung, G. Selvregistrerende meteorologiske Instrumenter. Med 1 Tavle. 1885 . . . . .  | 1. 10.  |
| 4. Mehnert, Fr. De cæcephale Myggelarver. Med 4 dobb. Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1886 . . . . .  | 6. 75.  |
| <b>IV,</b> med 25 Tavler. 1886—88 . . . . .   | 21. 50. |
| 1. Boas, J. E. V. Spolia Atlantica. Bidrag til Pteropodernes Morfologi og Systematik samt til Kundskaben om deres geografiske Udbredelse. Med 8 Tavler. Résumé en français. 1886 . . . . .                        | 10. 50. |
| 2. Lehmann, A. Om Anvendelsen af Middeldradsationernes Metode paa Lyssansen. Med 1 Tavle. 1886 . . . . .  | 1. 50.  |
| 3. Hannover, A. Primordialbrusken og dens Forbening i Truncus og Extremiteter hos Mennesket før Fødselen. Extrait en français. 1887 . . . . .   | 1. 60.  |
| 4. Lütken, Chr. Tillæg til Bidrag til Kundskab om Arterne af Slægten <i>Cyamus</i> Latr. eller Hvallusene. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1887 . . . . .  | • 60.   |
| 5. — Fortsatte Bidrag til Kundskab om de arktiske Dybhavs-Tudsefiske, særligt Slægten <i>Himantolophus</i> . Med 1 Tavle. Résumé en français. 1887 . . . . .  | • 75.   |
| 6. — Kritiske Studier over nogle Tandhvaler af Slægterne <i>Tursiops</i> , <i>Orca</i> og <i>Lagenorhynchus</i> . Med 2 Tavler. Résumé en français. 1887 . . . . .  | 4. 75.  |
| 7. Køeføed, E. Studier i Platosoforbindelse. 1888 . . . . .   | 1. 30.  |
| 8. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 3de Afhandling. Med 12 Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1888 . . . . .  | 6. 45.  |
| <b>V,</b> med 11 Tavler og 1 Kort. 1889—91 . . . . .  | 15. 50. |
| 1. Lütken, Chr. Spolia Atlantica. Bidrag til Kundskab om de tre pelagiske Tandhval-Slægter <i>Steno</i> , <i>Delphinus</i> og <i>Prodelphinus</i> . Med 1 Tavle og 1 Kort. Résumé en français. 1889 . . . . .     | 2. 75.  |
| 2. Valentini, B. De endelige Transformations-Grupper Theori. Résumé en français. 1889 . . . . .   | 5. 50.  |
| 3. Hansen, H. J. Ciroanidene og familier nonnullæ propinquæ Musei Haunienis. Et Bidrag til Kundskaben om nogle Familier af isopode Kræbsdyr. Med 10 Kobbertavler. Résumé en français. 1890 . . . . .              | 9. 50.  |
| 4. Lorenz, L. Analytiske Undersøgelser over Primtalmængderne. 1891 . . . . .  | • 75.   |



|   | kr | str |
|---|----|-----|
| <b>VI, med 4 Tavler. 1890—92</b> .....  | 13 | 75. |
| 1. Lorenz, L. Lysbevægelsen i og uden for en af plane Lysbølger belyst Kugle. 1890 .....  | 2  | .   |
| 2. Sørensen, William. Om Forhænger i Svømmehæder, Pienra og Kortas Vag og Sammenhængen deraf med Hvirvelsøjlen særlig hos Siluriderne, samt de sarkalide Weberske knogles Morfologi. Med 3 Tavler. Résumé en français. 1890 ..... | 3  | 80. |
| 3. Warming, Eug. Lagoa Santa. Et Bidrag til den biologiske Plantogeografi. Med en Fortegnelse over Lagoa Santas Hvirveldyr. Med 43 Illustrationer i Teksten og 1 Tavle. Résumé en français. 1892 .....                            | 10 | 85. |
| <b>VII, med 4 Tavler. 1890—94</b> .....   | 13 | 75. |
| 1. Gram, J. P. Studier over nogle numeriske Funktioner. Résumé en français. 1890 .....  | 1  | 10. |
| 2. Prytz, K. Metoder til korte Tidens, særlig Rotationstidens, Udmaalning. En experimental Undersøgelse. Med 16 Figurer i Teksten. 1890 .....   | 1  | 50. |
| 3. Petersen, Emil. Om nogle Grundstoffers allotrope Tilstandsformer. 1891 .....   | 1  | 60. |
| 4. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 4de Afhandling. Med 185 mest af Forfatteren tegnede Figurer i 34 Grupper. Résumé et explication des figures en français. 1891 .....  | 1  | 50. |
| 5. Christensen, Odin T. Rhodauchromammoniakkorbindelser. Bidrag til Chromammoniakkorbindelsernes Kem. III. 1891 .....   | 1  | 25. |
| 6. Lütken, Chr. Spolia Atlantica. Scopelini Musei Zoologici Universitatis Hammensis. Bidrag til Kundskab om det aabne Havs Laxesild eller Scopeliner. Med 3 Tavler. Résumé en français. 1892 .....                                | 3  | 50. |
| 7. Petersen, Emil. Om den elektrolytiske Dissociationsvarme af nogle Syrer. 1892 .....  | 1  | 25. |
| 8. Petersen, O. G. Bidrag til Scitamineernes Anatomi. Résumé en français. 1893 .....  | 2  | 75. |
| 9. Lütken, Chr. Andet Tilleg til »Bidrag til Kundskab om Arterne af Slægten <i>Cygnus</i> Latr. eller Hval-lusener». Med 1 Tavle. Résumé en français. 1893 .....  | .  | 85. |
| 10. Petersen, Emil. Reaktionshastigheden ved Methylætherdannelsen. 1894 .....   | 1  | 50. |
| <b>VIII, med 3 Tavler. 1895—98</b> .....  | 12 | 25. |
| 1. Melnert, F. Sideorganerne hos Scarabe-Larverne. Les organes latéraux des larves des Scarabées. Med 3 Tavler. Résumé et explication des planches en français. 1895 .....  | 3  | 30. |
| 2. Petersen, Emil. Damptrykformindskelsen af Methylalkohol. 1896 .....  | 1  | .   |
| 3. Buchwaldt, F. En mathematisk Undersøgelse af, hvorvidt Vædske og deres Damp kan have en fælles Tilstandsligning, baseret paa en kortfattet Fremstilling af Varmetheoriens Hovedsætninger. Résumé en français. 1896 .....       | 2  | 25. |
| 4. Warming, Eug. Halofyt-Studier. 1897 .....  | 3  | .   |
| 5. Johansen, W. Studier over Planternes periodiske Livsyttringer. I. Om antagonistske Virksomheder i Stofskiftet, særlig under Modning og Hvile. 1897 .....   | 3  | 75. |
| 6. Nielsen, N. Undersøgelser over reciproke Potenssummer og deres Anvendelse paa Rækker og Integraler. 1898 .....   | 1  | 60. |
| <b>IX, med 17 Tavler. 1898—1901</b> .....   | 17 | .   |
| 1. Steenstrup, Japetus, og Lütken, Chr. Spolia Atlantica. Bidrag til Kundskab om Klump- eller Maanediskene ( <i>Molidæ</i> ). Med 4 Tavler og en Del Xylografer og Fotografurver. 1898 .....                                      | 1  | 75. |
| 2. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 5de Afhandling. Med 47 Figurer og 1 Tavle. Résumé en français. 1899 .....  | 1  | 60. |
| 3. Meyer, Kristine. Om overensstemmende Tilstande hos Stofferne. En med Videnskaberens Selskabs Guld-medaille belønnet Præfathandling. Med en Tavle. 1899 .....   | 2  | 60. |
| 4. Jørgensen, S. M. Om Zeise's Platosenathylen- og Gossa's Platosenaminisulfat. Med 1 Tavle. 1900 .....   | .  | 75. |
| 5. Christensen, A. Om Overbromider af Chinnalkaloider. 1900 .....   | 1  | .   |
| 6. Steenstrup, Japetus. <i>Heteroleuthis Gray</i> , med Bemærkninger om <i>Rossia-Sepida</i> Familien i Almindelighed. Med en Tavle. 1900 .....   | .  | 90. |
| 7. Gram, Bille. Om Proteinkornene hos olegievende Frø. Med 4 Tavler. Résumé en français. 1901 .....   | 2  | 50. |
| 8. Melnert, Fr. Vandkalvelarverne ( <i>Larvæ Dytsicidarum</i> ). Med 6 Tavler. Résumé en français. 1901 .....   | 5  | 35. |
| <b>X, med 4 Tavler. 1899—1902</b> .....   | 10 | 50. |
| 1. Juel, C. Indledning i Læren om de grafiske Kurver. Résumé en français. 1899 .....  | 2  | 80. |
| 2. Billmann, Einar. Bidrag til de organiske Kvægsolforbindelsernes Kem. 1901 .....  | 1  | 80. |
| 3. Samsøe Lund og Rostrop, E. Marktdiselen ( <i>Cistus arvensis</i> ). En Monografi. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1901 .....  | 6  | .   |
| 4. Christensen, A. Om Bromderivater af Chinnalkaloiderne og om de gennem disse dannede brintfattige Forbindelser. 1902 .....  | 1  | 40. |
| <b>XI, med 10 Tavler og 1 Kort. 1901—03</b> .....   | 15 | 05. |
| 1. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 6de Afhandling. Med 47 Figurer og 1 Tavle. Résumé en français. 1901 .....  | 2  | 15. |
| 2. Ravn, J. P. J. Molluskerne i Danmarks Kridthalpninger. I. Lævedyr og 4 Tavler. 1902 .....  | 4  | .   |
| 3. Winther, Chr. Rotationsdispersionen hos de spontant aktive Stoffer. 1902 .....   | 2  | .   |
| 4. Ravn, J. P. J. Molluskerne i Danmarks Kridthalpninger. II. Scaphopoder, Gastropoder og Cephalopoder. Med 5 Tavler. 1902 .....  | 3  | 40. |
| 5. Winther, Chr. Polarimetriske Undersøgelser II. Rotationsdispersionen i opløsninger .....   | 1  | 60. |
| 6. Ravn, J. P. J. Molluskerne i Danmarks Kridthalpninger. III. Streptozoiske Undersøgelser. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1903 .....   | 3  | 85. |
| <b>XII, med 3 Tavler og 1 Kort. 1902—04</b> .....   | 10 | 0   |
| 1. Forch, Carl, Knudsen, Martin, og Sørensen, S. P. L. Recherche über die Konstantenbestimmungen zur Aufstellung der hydrographischen Tabellen. Gesammelt von M. Knudsen. 1902 .....  | 4  | 75. |
| 2. Bergh, R. Gasteropoda opisthobranchiata With three plates and a map. (The Danish expedition to Siam 1899—1900, I.) 1902 .....  | 5  | 45. |
| 3. Petersen, C. G. Joh., Jensen, Søren, Johansen, A. C., og Levinson, J. Chr. L. De danske Farvandes Plankton i Aarene 1898—1901. 1903 .....  | 3  | 25. |
| 4. Christensen, A. Om Chinnalkaloidernes Dibromadditionsprodukter og om Forbindelser af Alkaloidernes Chlorhydrater med højere Metalchlorider. 1904 .....   | 1  | 85. |

# Botaniske Skrifter

udgivne af det Kgl. danske Videnskabernes Selskab

(udenfor Skrifternæs 6te Række, se Omslagets S. 2—3):

|  | Kr. | Ore |
|--|-----|-----|
| Borgesen, F. An ecological and systematic account of the Caulerpas of the Danish West Indies. 1907.....  | 1.  | 75  |
| Christensen, Carl. Revision of the American species of Dryopteris of the group of <i>D. opposita</i> . 1907.....   | 2.  | 85  |
| Drejer, S. Symbolæ caricologicæ, med 17 Tavler. 44. fol.....   | 6.  | •   |
| Gottsche, C. M. De mexikanske Levermoser, efter Prof. Liebmans Samling, m. 20 Tavler. 67.....  | 9.  | 25  |
| Hansen-Ostenfeld, Carl. De danske Farvandes Plankton i Aarene 1898—1901. Phytoplankton og Protozoer. I.<br>Résumé en français. 1913.....                                 | 11. | 15  |
| — II. Résumé en français. 1916.....  | 2.  | 75  |
| Hempel, Jenny. Researches into the Effect of Etherization on Plant-Metabolism. 1911.....   | 2.  | 10  |
| Liebmann, F. Mexicos Bregner. 49.....  | 4.  | •   |
| — Mexicos Halvgræs og Philetæria, m. 1 Tavle. 50.....  | 2.  | 30  |
| — Mexicos og Central-Americas neldeagtige Planter. 51.....   | 1.  | 15  |
| Petersen, Henning Eiler. Danske Arter af Slægten <i>Ceramium</i> (Roth) Lyngbye, m. 7 Tavler. Résumé en français. 1908.....  | 4.  | 30  |
| Petersen, Johannes Boye. Studier over danske ærofile Alger, m. 4 Tavler. Résumé en français. 1915.....   | 5.  | 15  |
| Petersen, O. G. Undersøgelser over Træernes Aarringe. 1904.....  | 1.  | 60  |
| Raunkjær, C. Livsformen hos Planter paa ny Jord. 1909.....   | 2.  | 20  |
| Rosenvinge, L. Kolderup. The marine algæ of Denmark, I. With 2 charts and 2 plates. 1909.....  | 6.  | 15  |
| Rordam, K. Undersøgelse af nogle Græssers og Kloverarters kemiske Sammensætning paa forskellige Modningsstadier. 1913.....   | 2.  | •   |
| Schouw, J. Fr. De italienske Naaletræers geographiske og historiske Forhold, m. 1 Kort. 44.....  | 1.  | 25  |
| — Ege- og Birkefamiliens geographiske og historiske Forhold i Italien, m. 1 Kort. 47.....  | 1.  | •   |
| — Om en Samling Blomstertegninger i den kgl. Kobberstiksamling. 49.....  | •   | 65  |
| Warming, Eug. Forægningsforhold hos Fanerogamerne, betragtede med særligt Hensyn til Klovning af Væxtpunktet, m. 11 Tavler og mange Træsnit. Résumé en français. 72..... | 6.  | 45  |
| — Bidrag til Vadernes, Sandenes og Marskens Naturhistorie. 1904.....   | 1.  | 75  |
| Ørsted, A. S. Centralamericas Gesneraceæ, m. 12 Tavler. 58.....  | 4.  | •   |
| — Om en særegen Udvikling hos visse Snyltesvampe, navnlig om den genetiske Forbindelse mellem Sevenbommens Bæverrust og Pæretræets Gitterrust, m. 3 Tavler. 68.....      | 1.  | 25  |
| — Bidrag til Kundskab om Egefamilien i Fortid og Nutid, m. 8 Tavler og 1 Kort. Résumé en français. 71.   | 6.  | •   |

STOFSKIFTE  
VED  
SJÆLELIG VIRKSOMHED  
AF  
ALFR. LEHMANN

*WITH A RÉSUMÉ IN ENGLISH*

D. KGL. DANSKE VIDENSK. SELSK. SKRIFTER, NATURVIDENSK. OG MATHEM. AFD., 8. RÆKKE, III. 2

KØBENHAVN

HOVEDKOMMISSIONÆR: ANDR. FRED. HØST & SØN, KGL. HOF-BOGHADEL

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1918

Pris: 3 Kr. 15 Ore.

# Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter, 6<sup>te</sup> Række.

## Naturvidenskabelig og matematisk Afdeling.

|  | Kr.    Øre |
|--|------------|
| <b>I, med 42 Tavler, 1880—85</b>   |            |
| 1. Prytz, K. Undersøgelser over Lysets Brydning i Dampe og tilsvarende Vædske. 1880 . . . . .  | 29. 50.    |
| 2. Boas, J. E. V. Studier over Decapodernes Slægtskabsforhold. Med 7 Tavler. Résumé en français. 1880 . . . . .  | 8. 50.     |
| 3. Steenstrup, Jap. Sepiadiarium og Idiospius, to nye Slægter af Sepiernes Familie. Med Bemærkninger om to beslægtede Former Sepioides D'Orb. og Spirula Lmk. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1881 . . . . .                              | 1. 35      |
| 4. Colding, A. Nogle Undersøgelser over Stormen over Nord- og Mellem-Europa af 12 <sup>te</sup> —14 <sup>de</sup> Novb. 1872 og over den derved frenkaldte Vandflod i Østersøen. Med 23 Planer og Kort. Résumé en français. 1881 . . . . . | 10. "      |
| 5. Boas, J. E. V. Om en fossil Zebra-Form fra Brasilens Campos. Med et Tillæg om to Arter af Slægten Hippidion. Med 2 Tavler. 1881 . . . . .   | 2. "       |
| 6. Stern, A. Integration af en lineær Differentialligning af anden Orden. 1882 . . . . .   | " 50.      |
| 7. Krabbe, H. Nye Bidrag til Kundskab om Fuglenes Bændelorme. Med 2 Tavler. 1882 . . . . .   | 1. 35      |
| 8. Hannover, A. Den menneskelige Hjernes kals Bygning ved Anencephalia og Misdannelsens Forhold til Hjerneskalens Primordialbrusk. Med 2 Tavler. Extrait et explication des planches en français. 1882 . . . . .                           | 1. 60.     |
| 9. — Den menneskelige Hjernes kals Bygning ved Cyclopa og Misdannelsens Forhold til Hjerneskalens Primordialbrusk. Med 3 Tavler. Extrait et explic. des planches en français. 1884 . . . . .   | 4. 35.     |
| 10. — Den menneskelige Hjernes kals Bygning ved Synotia og Misdannelsens Forhold til Hjerneskalens Primordialbrusk. Med 1 Tavle. Extrait et explic. des planches en français. 1884 . . . . .   | 1. 30.     |
| 11. Lehmann, A. Forsøg paa en Forklaring af Synsvinklens Indflydelse paa Opfattelsen af Lys og Farve ved direkte Syn. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1885 . . . . .  | 1. 85.     |
| <b>II, med 20 Tavler, 1881—86</b>  |            |
| 1. Warmburg, Eug. Familien Podostemaceae. 1 <sup>ste</sup> Afhandling. Med 6 Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1881 . . . . .  | 20. "      |
| 2. Lorenz, L. Om Metallernes Ledningsevne for Varme og Elektricitet. 1881 . . . . .  | 3. 15.     |
| 3. Warmburg, Eug. Familien Podostemaceae. 2 <sup>den</sup> Afhandling. Med 9 Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1882 . . . . .  | 1. 30.     |
| 4. Christensen, Odin. Bidrag til Kundskab om Manganets Hæder. 1883 . . . . .   | 5. 30.     |
| 5. Lorenz, L. Fargespredningens Theori. 1883 . . . . .   | 1. 10.     |
| 6. Gram, J. P. Undersøgelser ang. Mængden af Primalt under en given Grænse. Résumé en français. 1884 . . . . .   | " 60.      |
| 7. Lorenz, L. Bestemmelse af Kvæksølvsejlers elektriske Ledningsmodstande i absolut elektromagnetisk Maal. 1885 . . . . .  | " 80.      |
| 8. Traustedt, M. P. A. Spolia Atlantica. Bidrag til Kundskab om Salperer. Med 2 Tavler. Explic. des planches en français. 1885 . . . . .   | 3. "       |
| 9. Bohr, Chr. Om Hlens Afvigelse fra den Boyle-Mariotteske Lov ved lave Tryk. Med 1 Tavle. 1885 . . . . .  | 1. "       |
| 10. — Undersøgelser over den af Blodfarvestoffet optagne Hlsmængde udførte ved Hjælp af et nyt Absorptionmeter. Med 2 Tavler. 1886 . . . . .   | 1. 70.     |
| 11. Thiele, T. N. Om Definitionerne for Tallet, Talarterne og de talliggende Bestemmelser. 1886 . . . . .  | 2. "       |
| <b>III, med 6 Tavler, 1885—86</b>  |            |
| 1. Zeuthen, H. G. Keglesnitlæren i Oldtiden. 1885 . . . . .  | 16. "      |
| 2. Levinson, G. M. R. Spolia Atlantica: Om nogle pelagiske Annulata. Med 1 Tavle. 1885 . . . . .   | 10. "      |
| 3. Rung, G. Selvregistrerende meteorologiske Instrumenter. Med 1 Tavle. 1885 . . . . .   | 1. 10      |
| 4. Mehnert, Fr. De eucephala Myggelarver. Med 4 dobb. Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1886 . . . . .   | 1. 10.     |
| <b>IV, med 25 Tavler. 1886—88</b>  |            |
| 1. Boas, J. E. V. Spolia Atlantica. Bidrag til Pteropodernes Morfologi og Systematik samt til Kundskaben om deres geografiske Udbredelse. Med 8 Tavler. Résumé en français. 1886 . . . . .   | 6. 75.     |
| 2. Lehmann, A. Om Anvendelsen af Middelgradationernes Metode paa Lyssansen. Med 1 Tavle. 1886 . . . . .  | 21. 50.    |
| 3. Hannover, A. Primordialbrusken og dens Forbening i Truncus og Extremiteter hos Mennesket før Fødselen. Extrait en français. 1887 . . . . .  | 10. 50.    |
| 4. Lütken, Chr. Tillæg til Bidrag til Kundskab om Arterne af Slægten <i>Cygnus</i> Latr. eller Hvalluseener. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1887 . . . . .   | 1. 50.     |
| 5. — Fortsatte Bidrag til Kundskab om de arktiske Dybhavs-Tundsetiske, særligt Slægten <i>Himantolopius</i> . Med 1 Tavle. Résumé en français. 1887 . . . . .  | 1. 60.     |
| 6. — Kritiske Studier over nogle Tandhvaler af Slægterne <i>Tursiops</i> , <i>Orcæ</i> og <i>Lagenorhynchus</i> . Med 2 Tavler. Résumé en français. 1887 . . . . .   | " 60.      |
| 7. Koefoed, E. Studier i Platosoforbindelser. 1888 . . . . .   | " 75.      |
| 8. Warmburg, Eug. Familien Podostemaceae. 3 <sup>de</sup> Afhandling. Med 12 Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1888 . . . . .  | 4. 75.     |
| <b>V, med 11 Tavler og 1 Kort. 1889—91</b>   |            |
| 1. Lütken, Chr. Spolia Atlantica. Bidrag til Kundskab om de tre pelagiske Tandhval-Slægter <i>Steno</i> , <i>Delphinus</i> og <i>Prodelphinus</i> . Med 1 Tavle og 1 Kort. Résumé en français. 1889 . . . . .                              | 1. 30.     |
| 2. Valentiner, H. De endelige Transformations-Grupper Theori. Résumé en français. 1889 . . . . .   | 6. 45.     |
| 3. Hansen, H. J. Crotalariae et familiae conuillae propinquæ Musci Hamiensis. Et Bidrag til Kundskaben om nogle Familier af isopode Krebsdyr. Med 10 Kobbertavler. Résumé en français. 1890 . . . . .                                      | 15. 50.    |
| 4. Lorenz, L. Analytiske Underøgelser over Primitalmængderne. 1891 . . . . .   | 2. 75.     |



## VI, med 4 Tavler. 1890—92 . . . . .

13 75.

1. Lorenz, L. Lysebevægelsen i og uden for en af plane Lysebolger belyst Kugle. 1890 . . . . . 2 75.
2. Sørensen, William. Om Forbejlinger i Svømmeblæren, Pleuro og Acoras Væg og Sammensmeltningen deraf med Hvirvelsøjlen særlig hos Siluroiderne, samt de saakaldte Weberiske Knogters Morfologi. Med 3 Tavler. Résumé en français. 1890 . . . . . 3 80.
3. Warming, Eug. Lagoa Santa. Et Bidrag til den biologiske Plantegengrafi. Med en Fortegnelse over Lagoa Santa's Hvirvelsøjler. Med 43 Illustrationer i Teksten og 1 Tavle. Résumé en français. 1892 . . . . . 10 85.

## VII, med 4 Tavler. 1890—94 . . . . .

13 75.

1. Gram, J. P. Studier over nogle numeriske Funktioner. Résumé en français. 1890 . . . . . 1 10.
2. Prytz, K. Metoder til korte Tiders, særlig Rotationstidens, Udmaalning. En experimental Undersøgelse. Med 16 Figurer i Teksten. 1890 . . . . . 1 50.
3. Petersen, Emil. Om nogle Grundstoffers allotrope Tilstandsformer. 1891 . . . . . 1 60.
4. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 4<sup>de</sup> Afhandling. Med c. 185 mest af Forfatteren tegnedes Figurer i 34 Grupper. Résumé et explication des figures en français. 1891 . . . . . 1 50.
5. Christensen, Odin T. Rhodanochromammoniakforbindelser. (Bidrag til Ghromammoniakforbindelsernes Kemi. III.) 1891 . . . . . 1 25.
6. Lütken, Chr. Spolia Atlantica. Scopelini Musei Zoologici Universitatis Hauniensis. Bidrag til Kendskab om det aabne Havs Laxesild eller Scopeliner. Med 3 Tavler. Résumé en français. 1892 . . . . . 3 50.
7. Petersen, Emil. Om den elektrolitiske Dissociationsvarme af nogle Syrer. 1892 . . . . . 1 25.
8. Petersen, O. G. Bidrag til Scitaminiernes Anatomi. Résumé en français. 1893 . . . . . 2 75.
9. Lütken, Chr. Andet Tillæg til "Bidrag til Kendskab om Arterne af Slægten *Cygnus* Lati" eller Hval-insene. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1893 . . . . . 1 85.
10. Petersen, Emil. Reaktionshastigheden ved Methylætherdannelsen. 1894 . . . . . 1 50.

## VIII, med 3 Tavler. 1895—98 . . . . .

12 25.

1. Meisner, F. Sideorganerne hos Scarabæ-Larverne. Les organes latéraux des larves des Scarabés. Med 3 Tavler. Résumé et explication des planches en français. 1895 . . . . . 3 30.
2. Petersen, Emil. Damptryksformidlingen af Methylalkohol. 1896 . . . . . 1 1.
3. Buchwaldt, F. En mathematisk Undersøgelse af, hvorvidt Vædsker og deres Damppe kunne have en fælles Tilstandsligning, baseret paa en kortfattet Fremstilling af Varmetheoriens Hovedsætninger. Résumé en français. 1896 . . . . . 2 25.
4. Warming, Eug. Halofyt-Studier. 1897 . . . . . 3 5.
5. Johansen, W. Studier over Planternes periodiske Livsyttringer. I. Om antagonistiske Virksomheder i Stofskiftet, særlig under Modning og Hvile. 1897 . . . . . 3 75.
6. Nielsen, N. Undersøgelser over reiproke Potenssummer og deres Anvendelse paa Rækker og Integraler. 1898 . . . . . 1 60.

## IX, med 17 Tavler. 1898—1901 . . . . .

17 1.

1. Steenstrup, Japetus, og Lütken, Chr. Spolia Atlantica. Bidrag til Kendskab om Klump- eller Maaneliskene (*Molidae*). Med 4 Tavler og en Del Xylografer og Fotograver. 1898 . . . . . 4 75.
2. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 5<sup>de</sup> Afhandling. Med 12 Figurgrupper. Résumé en français. 1899 . . . . . 1 60.
3. Meyer, Kirstine. Om overensstemmende Tilstande hos Stofferne. En med Videnskabernes Selskabs Guldmedaille belønnet Prisaafhandling. Med en Tavle. 1899 . . . . . 2 60.
4. Jørgensen, S. M. Om Zeise's Platosemiamthylen- og Cossa's Platosemiamminsalte. Med 1 Tavle. 1900 . . . . . 1 75.
5. Christensen, A. Om Overbromider af Chinalkaloider. 1900 . . . . . 1 1.
6. Steenstrup, Japetus. *Heteroteuthis Gray*, med Bemærkninger om Rossia-Septolia Familien i Almindelighed. Med en Tavle. 1900 . . . . . 2 90.
7. Gram, Bille. Om Proteinkernelne hos oliegivende Frø. Med 4 Tavler. Résumé en français. 1901 . . . . . 2 50.
8. Meisner, Fr. Vandalkalvearverne (*Larvæ Dytiscidarum*). Med 6 Tavler. Résumé en français. 1901 . . . . . 5 35.

## X, med 4 Tavler. 1899—1902 . . . . .

10 50.

1. Juel, C. Indledning i Læren om de grafiske Kurver. Résumé en français. 1899 . . . . . 2 80.
2. Büllmann, Elmar. Bidrag til de organiske Kvægsølvforbindelseres Kemi. 1901 . . . . . 1 80.
3. Sausse Lund og Rostrop, E. Markkildselen (*Cirsium arvense*). En Monografi. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1901 . . . . . 6 1.
4. Christensen, A. Om Bromiderivater af Chinalkaloiderne og om de gennem disse dannede brintfattigere Forbindelser. 1902 . . . . . 1 10.

## XI, med 10 Tavler og 1 Kort. 1901—03 . . . . .

15 05.

1. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 6<sup>de</sup> Afhandling. Med 47 Figurgrupper. Résumé en français. 1901 . . . . . 2 15.
2. Ravn, J. P. J. Molluskerne i Danmarks Kridtalflejringer. I. Lamellobranchiater. Med 1 Kort og 1 Tavle. 1902 . . . . . 4 1.
3. Winther, Chr. Rotationsdispersionen hos de spontant aktive Stoffer. 1902 . . . . . 2 1.
4. Ravn, J. P. J. Molluskerne i Danmarks Kridtalflejringer. II. Scaphopoder, Gastropoder og Cephalopoder. Med 5 Tavler. 1902 . . . . . 3 40.
5. Winther, Chr. Polarimetriske Undersøgelser II. Rotationsdispersionen i opløsninger . . . . . 1 60.
6. Ravn, J. P. J. Molluskerne i Danmarks Kridtalflejringer. III. Stratigrafiske Undersøgelser. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1903 . . . . . 3 85.

## XII, med 3 Tavler og 1 Kort. 1902—04 . . . . .

10 40.

1. Forch, Carl, Kousden, Martin, og Sørensen, S. P. L. Berichte über die Konstantenbestimmungen zur Aufstellung der hydrographischen Tabellen. Gesammelt von Martin Knudsen. 1902 . . . . . 4 75.
2. Bergh, R. Gasteropoda opisthobranchiata. With three plates and a map. (The Danish expedition to Siam 1899—1900, I.) 1902 . . . . . 3 45.
3. Petersen, C. G. Joh. Jensen, Søren, Johansen, A. C. og Levinson, J. Chr. L. De danske Farvandes Plankton i Aarene 1898—1901. 1903 . . . . . 3 25.
4. Christensen, A. Om Chinalkaloidernes Dihromadditionsprodukter og om Forbindelser af Alkaloïdernes Chlorhydrater med højere Metalchlorider. 1904 . . . . . 1 35.



# Fysiske og kemiske Skrifter

udgivne af Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab

(udenfor Skrifternes 6. Række, se Omslagets S. 2—3):

|   | Kr. | Øre |
|---|-----|-----|
| Barfoed, C. T. Nogle Undersøgelser over de isomeriske Tinsyrer. 67. . . . .   | •   | 60. |
| Christiansen, C. Magnetiske Undersøgelser. 76. . . . .  | 1.  | •   |
| Colding, A. Undersøgelser om de almindelige Naturkræfter og deres gjensidige Afhængighed, samt: Om Magnetens Indvirkning paa blødt Jern Med 4 Tavler. 50. . . . . | 2.  | 65. |
| — Undersøgelser over Vanddampene og deres bevægende Kraft i Dampmaskinen. 52. . . . .   | •   | 85. |
| — Om Lovene for Vandets Bevægelse i lukkede Ledninger. Med 3 Tavler. 57. . . . .  | 1.  | 65. |
| — De frie Vandspejlsformer i Ledninger med konstant Vandføring. Med 3 Tavler. 63. . . . .   | 1.  | •   |
| — Om Udstømning af Varme fra Ledninger for varmt Vand. 64. . . . .  | 1.  | •   |
| — Om Strømningsforholdene i almindelige Ledninger og i Havet. Med 3 Tavler. Résumé en franç. 70. . . . .  | 5.  | 15. |
| — Om Lovene for Vandets Bevægelse i Jorden. Med 2 Tavler. Résumé en franç. 72. . . . .  | 1.  | 65. |
| — Fremstilling af Resultaterne af nogle Undersøgelser over de ved Vindens Kraft fremkaldte Strømninger i Havet. 76. . . . .                                       | •   | 85. |
| Jørgensen, S. M. Nogle Analogier mellem Platin og Tin. 65. . . . .  | •   | 35. |
| — Om den saakaldte Herapathit og lignende Acidperjodider. 75. . . . .   | 3.  | 75. |
| Lorenz, L. Experimentale og theoretiske Undersøgelser over Legemernes Brydningsforhold. I. 69. . . . .  | 1.  | •   |
| — do. II. 75. . . . .   | 1.  | 10. |
| Nørgaard. Bidrag til Oplysning om de kulsure Magnesiaforbindelser. Med 1 Tavle. 50. . . . .   | •   | 80. |
| Scharling, E. A. Undersøgelser over Urin. 43. . . . .   | •   | 50. |
| — Undersøgelser over den Quantitet Kulstof, som i Form af Kulsyre forlader det menneskelige Legeme i Døgnet Løb. 43. . . . .                                      | •   | 65. |
| — Fortsatte Forsøg for at bestemme Kulsyren i Menneskets Udaanding. Med 1 Tavle. 45. . . . .  | •   | 80. |
| — Tredie Række af samme. 49. . . . .  | •   | 30. |
| — Bidrag til Oplysning om de i Handelen forekommende Balsamers kemiske Forhold. 55. . . . .   | 1.  | •   |
| — Om Døglal og Æthal. 55. . . . .   | •   | 50. |
| Thomsen, Jul. Bidrag til et thermochemisk System. 52. . . . .   | 1.  | 30. |
| — Den elektromotoriske Kraft udtrykt i Varmeenheder. 58. . . . .  | •   | 75. |
| — Thermochemiske Undersøgelser over Affinitetsforholdene mellem Syrer og Baser i vandig Opløsning I. Med 1 Tavle. Résumé en franç. 69. . . . .                    | •   | 85. |
| — do. V—VIII. 70. . . . .   | 1.  | 35. |
| — do. IX. 70. . . . .   | 1.  | •   |
| — do. X. 71. . . . .  | 1.  | 35. |
| — do. XI. Med en Tavle. 73. . . . .   | 1.  | 35. |
| — do. XII. 73. . . . .  | •   | 85. |
| Topsoe, H., & Christiansen, C. Krystallografisk-optiske Undersøgelser, med særligt Hensyn til isomorfe Stoffer. 73. . . . .                                       | 3.  | •   |
| Zeise, W. C. Om Acechlorplatin. 41. . . . .   | 1.  | •   |
| — Om et Product af Ammonium-Sulphocyan-Hydrat ved Chlor. 43. . . . .  | •   | 40. |
| — Undersøgelser over Producterne ved Tobakkens tørre Destillation og over Tobakskrogens kemiske Beskaffenhed. 43. . . . .   | •   | 50. |
| — Om Virkningen mellem xanthogensyret Kali og Jode. 45. . . . .   | •   | 50. |
| — Om Virkningen mellem Kali-Methyloxyd-Sulphocarbonat og Jode. 47. . . . .  | •   | 30. |

# INTENSITIES OF SPECTRAL LINES

ON THE APPLICATION OF THE QUANTUM THEORY TO THE  
PROBLEM OF THE RELATIVE INTENSITIES OF THE COMPO-  
NENTS OF THE FINE STRUCTURE AND OF THE STARK EFFECT  
OF THE LINES OF THE HYDROGEN SPECTRUM

BY

H. A. KRAMERS

WITH FOUR PLATES

D. KGL. DANSKE VIDENSK. SELSK. SKRIFTER, NATURVIDENSK. OG MATHEM. AFD., 8. RÆKKE, III. 3



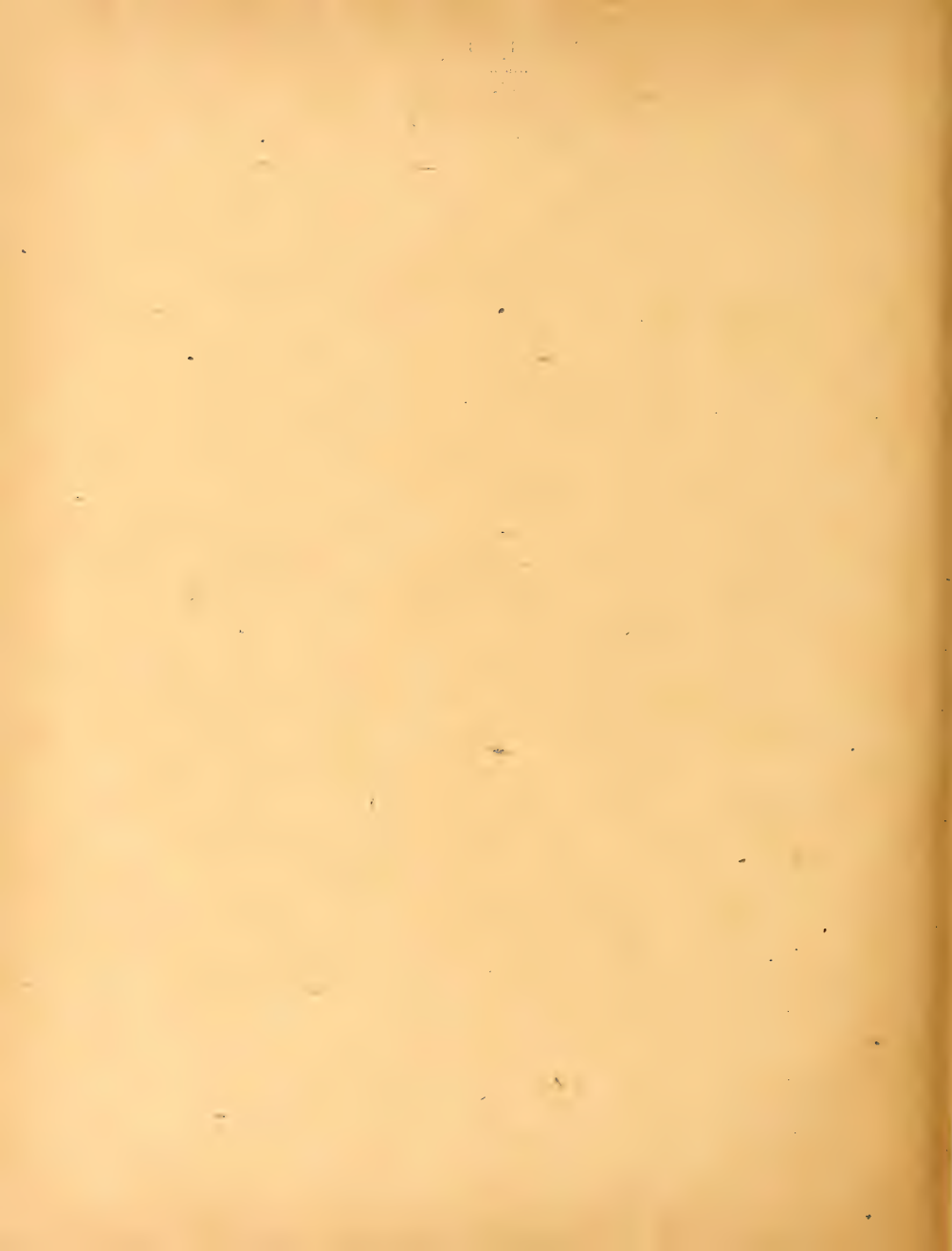
KØBENHAVN

HOVEDKOMMISSIONÆR: ANDR. FRED. HØST & SØN, KGL. HOF-BOGHLANDER.

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1919

Pris: 9 Kr. 50 Øre.





Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter.  
Naturvidenskabelig og matematisk Afdeling,  
8de Række.

|   | Kr. | Øre |
|---|-----|-----|
| <b>I, 1915—1917</b> .....   | 10. | 75. |
| 1. <b>Prytz, K. og J. N. Nielsen:</b> Undersøgelser til Fremstilling af Normaler i Metersystemet, grundet paa Sammenligning med de danske Rigsprototyper for Kilogrammet og Meteren. 1915.....  | 1.  | 55. |
| 2. <b>Rasmussen, Hans Baggesgaard:</b> Om Bestemmelse af Nikotin i Tobak og Tobaksextrakter. En kritisk Undersøgelse. 1916 .....  | 1.  | 75. |
| 3. <b>Christiansen, M.:</b> Bakterier af Tyfus-Coligruppen, forekommende i Tarmen hos sunde Spædkalve og ved disses Tarminfektioner. Sammenlignende Undersøgelser. 1916 .....   | 2.  | 25. |
| 4. <b>Juel, C.:</b> Die elementare Ringfläche vierter Ordnung. 1916 .....   | »   | 60. |
| 5. <b>Zeuthen, H. G.:</b> Hvorledes Mathematiken i Tiden fra Platon til Euklid blev en rationel Videnskab. Avec un résumé en français. 1917 .....   | 8.  | »   |
| <b>II, med 4 Tavler, 1916—1918</b> .....  | 11. | 50. |
| 1. <b>Jørgensen, S. M.:</b> Det kemiske Syrebegrebs Udviklingshistorie indtil 1830. Efterladt Manuskript, udgivet af <i>Ove Jørgensen og S. P. L. Sørensen</i> . 1916 .....   | 3.  | 45. |
| 2. <b>Hansen-Ostenfeld, Carl:</b> De danske Farvandes Plankton i Aarene 1898—1901. Phytoplankton og Protozoer. 2 Protozoer: Organismer med usikker Stilling; Parasiter i Phytoplanktonter. Med 4 Figurgrupper og 7 Tabeller i Teksten. Avec un résumé en français. 1916 .....   | 2.  | 75. |
| 3. <b>Jensen, J. L. W. V.:</b> Undersøgelser over en Klasse fundamentale Uligheder i de analytiske Funktioners Teori. I. 1916 .....   | »   | 90. |
| 4. <b>Pedersen, P. O.:</b> Om Poulsen-Buén og dens Teori. En Experimentalundersøgelse. Med 4 Tavler. 1917 .....   | 2.  | 90. |
| 5. <b>Juel, C.:</b> Die gewundenen Kurven vom Maximalindex auf einer Regelfläche zweiter Ordnung. 1917 .....  | »   | 75. |
| 6. <b>Warming, Eug.:</b> Om Jordudløbere. With a Résumé in English 1918 .....   | 3.  | 65. |
| <b>III, med 14 Kort og 12 Tavler, 1917—1919</b> .....   | 26. | 00. |
| 1. <b>Wesenberg-Lund, C.:</b> Furesostudier. En bathymetrisk Undersøgelse af Mølleaaens Søer. Under Medvirkning af Oberst <i>M. J. Sund</i> , Mag. <i>J. Boye Petersen</i> , Fru <i>A. Seidelin Raunkjær</i> og Mag. sc. <i>C. M. Sleenberg</i> . Med 7 bathymetriske Kort, 7 Vegetationskort, 8 Tavler og ca. 50 i Texten trykte Figurer. Avec un résumé en français. 1917 ..... | 22. | »   |
| 2. <b>Lehmann, Alf.:</b> Stofskifte ved sjælelig Virksomhed. With a Résumé in English. 1918 .....   | 3.  | 15. |
| 3. <b>Kramers, H. A.:</b> Intensities of Spectral Lines. On the application of the Quantum Theory to the problem of the relative intensities of the components of the fine structure and of the stark effect of the lines of the hydrogen spectrum. With 4 plates. 1919 .....   | 9.  | 50. |
| <b>V (under Pressen).</b>   |     |     |
| 1. <b>Bjerrum, Niels und Kirschner, Aage:</b> Die Rhodanide des Goldes und das freie Rhodan. Mit einem Anhang über das Goldchlorid. 1918 .....  | 3.  | 50. |

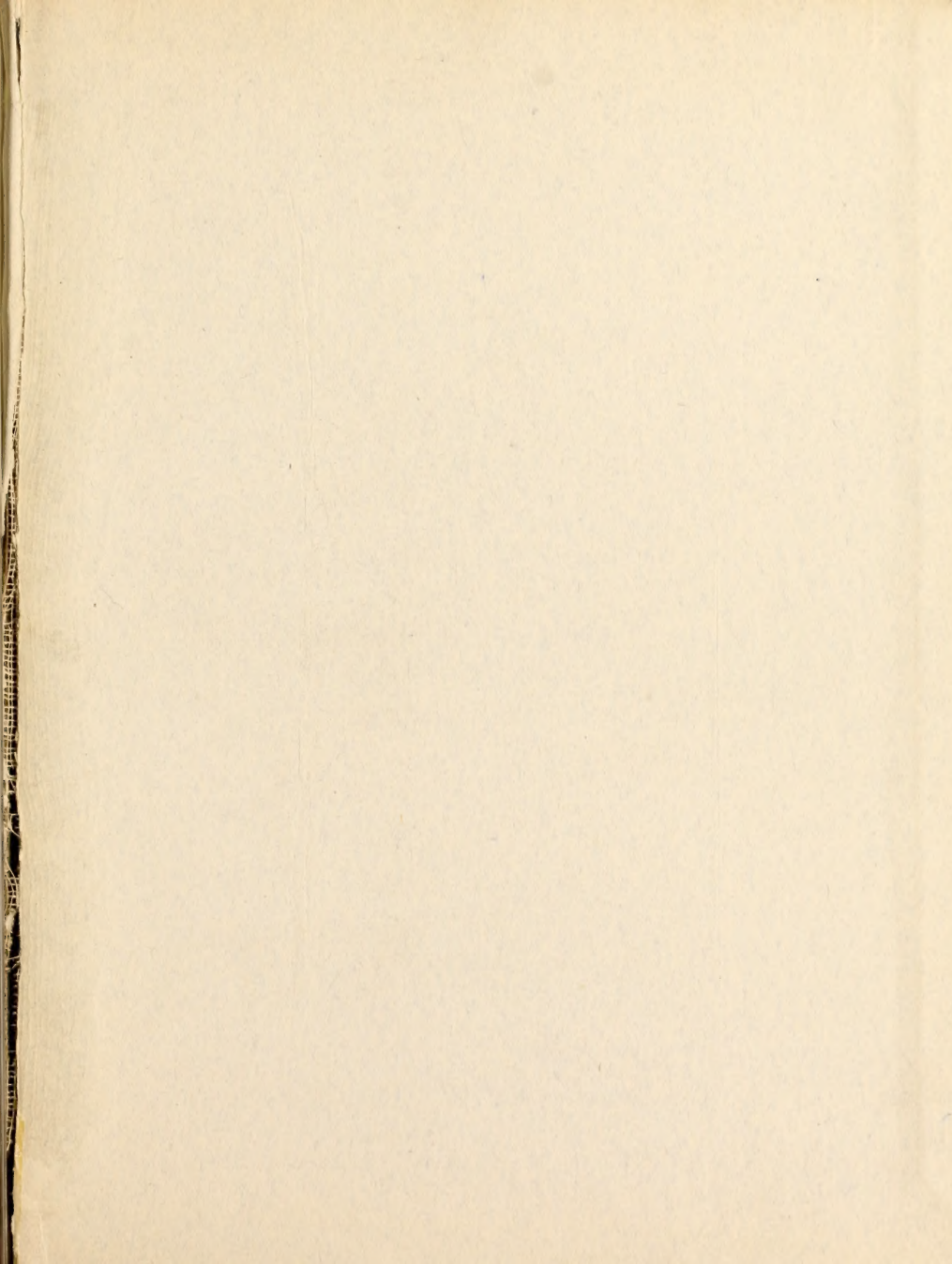














AMNH LIBRARY



100205713